

CALENTAMIENTO URBANO Y CONFORT TÉRMICO: UN DESAFÍO PARA LA CIUDAD PRESIDENCIA ROQUE SÁENZ PEÑA (ARGENTINA)

Paula Eugenia López

Instituto de Investigación para el Desarrollo Territorial y del Hábitat Humano (IIDTHH), CONICET- UNNE, Resistencia, Chaco, Argentina
lopez.paulae99@gmail.com

Federico Ferrelli

Universidad Nacional del Sur (UNS), Departamento de Geografía y Turismo e Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) CONICET-UNS, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina
federicoferrelli@gmail.com

María Luján Bustos

Universidad Nacional del Sur (UNS), Departamento de Geografía y Turismo e Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) CONICET-UNS, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina
mlujanbustos@gmail.com

Osvaldo Daniel Cardozo

Instituto de Investigación para el Desarrollo Territorial y del Hábitat Humano (IIDTHH), CONICET- UNNE, Resistencia, Chaco, Argentina
osvaldodcardozo@yahoo.com.ar

RESUMEN

La ciudad Presidencia Roque Sáenz Peña, ubicada en la provincia del Chaco, Argentina, experimentó una notable expansión urbana. Este crecimiento demanda estudios que optimicen la habitabilidad, con especial énfasis en el confort térmico, crucial para la salud y el bienestar de la población, especialmente en el contexto del cambio climático. El objetivo de este estudio fue evaluar el calentamiento urbano y su impacto sobre el confort térmico en la ciudad de Roque Sáenz Peña durante el período 1959-2022 para identificar aquellos factores que podrían ser perjudiciales para el bienestar de la población. Se utilizaron valores diarios para el cálculo de los índices *Humidex* para el verano y *Wind Chill* para el invierno, analizando una serie temporal de 60 años. Los resultados identificaron situaciones de incomodidad moderada en verano, con condiciones desfavorables en años más cálidos, mientras que en invierno las temperaturas fueron relativamente confortables. Se recomienda integrar estrategias urbanas sostenibles como techos verdes, vegetación y cuerpos de agua para mitigar los efectos del calentamiento urbano y mejorar así la calidad de vida.

Palabras clave: Clima urbano. Bienestar. Índices.

AQUECIMENTO URBANO E CONFORTO TÉRMICO: UM DESAFIO PARA A CIDADE DE PRESIDENCIA ROQUE SÁENZ PEÑA (ARGENTINA)

RESUMO

A cidade Presidencia Roque Sáenz Peña, localizada na província do Chaco, Argentina, experimentou uma notável expansão urbana. Este crescimento demanda estudos que optimizam a habitabilidade, com ênfase especial no conforto térmico, crucial para a saúde e o bem-estar da população, especialmente no contexto da mudança climática. O objetivo deste trabalho foi avaliar o aquecimento urbano e o seu impacto no conforto térmico na cidade de Presidencia Roque Sáenz Peña durante o período 1959-2022 para identificar os fatores que poderiam ser prejudiciais para o bem-estar da população. Utilizaram-se valores diários para o cálculo dos índices *Humidex* para o verão e o índice *Wind Chill* para o inverno, analisando uma série histórica de 60 anos. Os resultados identificaram situações de desconforto moderado no verão, com condições desfavoráveis nos anos mais quentes, enquanto no inverno as temperaturas são relativamente confortáveis. Recomenda-se integrar estratégias urbanas sustentáveis como telhados verdes, vegetação e corpos de água para mitigar os efeitos do aquecimento urbano e, assim, melhorar a qualidade de vida urbana.

Palavras-chave: Clima urbano. Bem-estar. Índices.

INTRODUCCIÓN

El contexto actual de cambio climático y calentamiento global provoca alteraciones en los patrones climáticos globales, especialmente en relación con el aumento de las temperaturas y sus efectos en el confort térmico (Miró Pérez; Olcina, 2020). El cambio climático es una de las problemáticas ambientales más relevantes del siglo XXI a nivel mundial. Se considera una realidad irreversible, a pesar de las estrategias desarrolladas para mitigar sus efectos (Callejas Ochoa *et al.*, 2023). Por estos motivos, es necesario definir el clima como conjunto de fenómenos meteorológicos y estados de la atmósfera en su comportamiento más frecuente o estado medio a lo largo de un periodo de tres y/o cinco décadas, en un punto específico de la superficie terrestre. Estos estados incluyen elementos como temperatura, humedad, viento, precipitación, etc. (Alonso García; Fidalgo Martínez; Labajo Salazar, 2004; Escardó, 1998, 2010).

Por su parte, el clima urbano surge de las transformaciones del paisaje que se producen en las ciudades. Las edificaciones e impermeabilización de los suelos generan cambios en el comportamiento de los vientos, la escorrentía del agua, y la manera en que las distintas áreas absorben y reflejan la radiación solar (Alonso García; Fidalgo Martínez; Labajo Salazar, 2004; Fernández García; Martilli, 2012). Este fenómeno es el resultado involuntario, de una larga serie de actividades humanas que impactan en la atmósfera local, lo cual lleva a las ciudades a presentar características climáticas distintas de las de su entorno. Así, la atmósfera urbana contiene nitrógeno, oxígeno, vapor de agua y dióxido de carbono, entre otros gases que en cantidades determinadas son considerados como los gases normales de la atmósfera. Sin embargo, debido a las emisiones generadas por la actividad humana, la atmósfera urbana también contiene dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e incluso partículas de polvo, cenizas, etc. (Alonso García; Fidalgo Martínez; Labajo Salazar, 2004; Villarejo, 2009). Particularmente las actividades de la población abarcan desde la quema de combustible, refrigeración y calefacción de ambientes, hasta inclusivo el mismo metabolismo de las personas y animales. Ellas liberan energía que es convertida en calor sensible o calor latente y se denomina flujo de calor antropogénico (Oke *et al.*, 2017).

Si bien la temperatura del aire es la variable más influyente en el bienestar de la población, no es la única, por lo que es necesario definir el concepto de 'confort térmico'. Aunque es una sensación subjetiva de las personas sobre las condiciones ideales, fisiológicamente se da cuando los mecanismos termorreguladores del organismo se encuentran en un estado de actividad mínimo. Otras variables que se tienen en cuenta son la humedad; la temperatura radiante de los objetos circundantes; la velocidad del viento y, en algunos casos, su dirección. Se considera que las condiciones en que una persona siente confort oscilan entre 18 y 22°C de temperatura y alrededor del 55% de humedad relativa (Ochoa de la Torre; Marincic Lovriha; Alpuche cruz, 2009; López Trigal, 2015; Pasquevich; Spurio, 2019). Es un aspecto clave, ya que las altas temperaturas pueden provocar consecuencias negativas como malestar, desmotivación, reducción de la productividad, impacto en la salud física y mental, entre otros (Ferrelli; Piccolo, 2017). El monitoreo del confort térmico en las ciudades proporcionaría información para planificación urbana, permitiendo priorizar el bienestar de poblaciones vulnerables como ancianos y niños (Ho, *et al.*, 2016; Ferrelli; Piccolo, 2017; Diaconescu, *et al.*, 2023).

Algunos ejemplos en la literatura realzan aún más la importancia del estudio del confort climático. Por ejemplo, en Colombia, una investigación evaluó el desempeño térmico de viviendas frente al cambio climático. Se encontró que la mayoría de estas viviendas no ofrecen condiciones adecuadas de confort térmico, lo que subraya la necesidad de adaptar su diseño para enfrentar temperaturas altas. Además, se destaca la importancia de considerar las condiciones climáticas del emplazamiento, lo que incluye una orientación adecuada para aprovechar la luz natural y ventilación cruzada en su diseño. El uso de materiales que respondan a las condiciones ambientales, la implementación de energías renovables para mantener un bajo consumo energético y la selección de materiales sustentables, que mantengan baja la huella de carbono, contribuirían a largo plazo a un confort térmico adecuado para los habitantes (Pérez; Gómez, 2023).

Por otro lado, Santos y Silva (2023), analizaron cómo la urbanización desenfrenada y sin control en la ciudad de Belém incrementó el uso de materiales como asfalto, hormigón, vidrios y colores oscuros, los cuales absorben y retienen el calor, elevando las temperaturas en la ciudad. Este efecto se ve agravado por la escasa presencia de áreas verdes, que desempeñan un papel fundamental en la regulación térmica mediante la sombra y la evaporación de agua. También la alta densidad demográfica y el tráfico vehicular contribuyeron al aumento del calor y la contaminación, empeorando la sensación térmica. A su vez, el diseño y disposición de los edificios, tuvo un impacto significativo en la circulación del viento, alterando la temperatura y el confort térmico. Para mejorar estas condiciones, propusieron

integrar más espacios verdes y considerar un diseño urbano que permita una mejor regulación térmica en la ciudad. Además, el artículo menciona que el cambio climático impacta el confort térmico de la ciudad. El aumento de las temperaturas globales provoca olas de calor más frecuentes y severas, generando que el área urbana sea mucho más cálida que las zonas rurales circundantes. Por otro lado, los cambios en los patrones de precipitación, como lluvias intensas o sequías prolongadas, afectan la disponibilidad de agua y la humedad, lo que altera la sensación térmica y aumenta el estrés hídrico en las ciudades. Esto, a su vez, tiene consecuencias en la salud humana y la distribución de la vegetación. Como resultado, también se agrava la contaminación del aire, lo que no solo afecta el confort térmico de los habitantes, sino también su salud.

En la provincia del Chaco (Argentina), en el departamento Comandante Fernández, la ciudad Presidencia Roque Sáenz Peña, es la segunda urbe más poblada y con mayor expansión en términos de ejido urbano, después de la capital provincial (Resistencia, Chaco, Argentina). Ante este desarrollo, es fundamental realizar estudios que acompañen este crecimiento urbano, a fin de generar las condiciones óptimas para el bienestar de la población (López, 2024). En esta localidad, durante los meses de verano de los años 2024 y 2025, se registraron muertes de personas mayores de 65 años como consecuencia de olas de calor. En las notas periodísticas, el personal de la salud y profesionales señalan que el sector de la población más expuesto a estos peligros son los adultos de 65 años o más y los infantes menores de 5 años. Además, la situación se agrava por las condiciones de vida, tipos de viviendas, recursos económicos y disponibilidad de servicios como el agua (Diario Norte, 2024; Diario La Voz, 2025 y Chaco Día por Día, 2025). En este sentido, es necesario tener presente que, según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022, realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), un 1% de la población que no cuenta con vivienda ni agua; un 13,2% obtiene el agua de diferentes métodos que no incluyen red pública, perforaciones o pozos con o sin bomba, es decir, recurren a métodos alternativos como agua de lluvia, cisternas, cursos de agua, entre otros. Con respecto a las viviendas, un 32,1% de estas tienen techos de chapa de metal sin revestimiento interior o cielorraso. La falta de un techo adecuado, agua o incluso una vivienda solo incrementan la vulnerabilidad ante las temperaturas extremas. Asimismo, según el censo del año 2022, un 6,9% de los habitantes son menores de 5 años y el 9,2% mayores a 65 años (INDEC, 2023), lo que representa a los grupos más propensos a sufrir las consecuencias de las altas temperaturas.

Por todo lo mencionado, el objetivo de este estudio fue evaluar el calentamiento urbano durante el período 1959-2022 y su impacto sobre el confort térmico, utilizando valores diarios correspondientes a las estaciones de invierno y verano, en la ciudad de Roque Sáenz Peña, con la finalidad de identificar aquellos factores que podrían ser perjudiciales al bienestar de la población. Los resultados proporcionan una base de datos esenciales para la toma de decisiones orientadas a generar medidas de mitigación y adaptación, especialmente en el contexto del cambio climático.

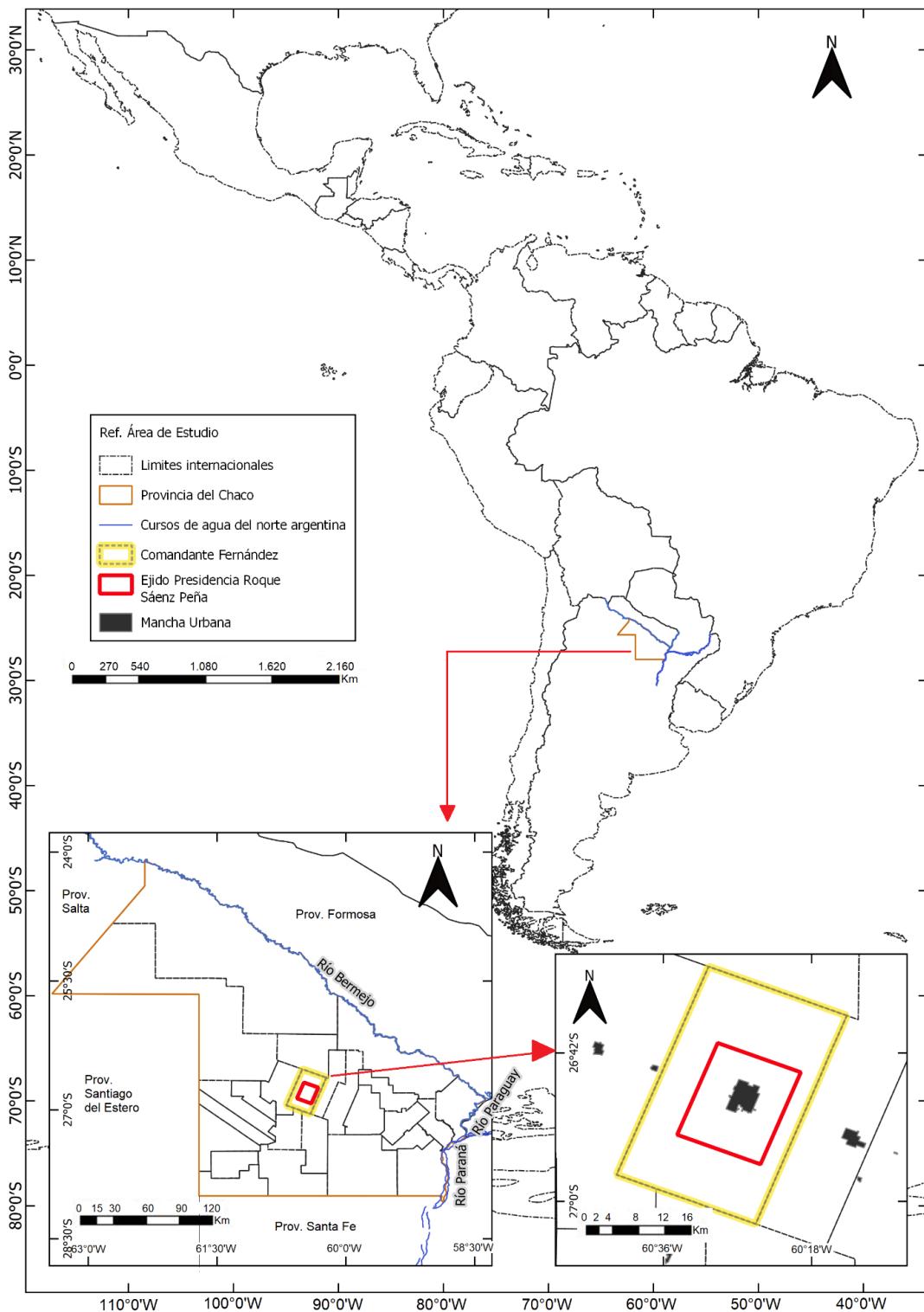
METODOLOGÍA

Área de estudio

La Provincia de Chaco está ubicada en el Noreste Argentino. Se extiende desde los 24°05'S hasta los 28°S en sentido latitudinal y desde los 58°22' W a los 63°25'W longitudinalmente. Tiene como límites naturales a los ríos Bermejo al norte y Paraguay y Paraná al este, mientras que los demás límites con las provincias de Salta, Santiago del Estero y Santa Fe son políticos (Figura 1).

El departamento Comandante Fernández, según el Censo Nacional de Población realizado en el año 2022, cuenta con una población de 101.960 habitantes, concentrándose principalmente en la ciudad de Presidencia Roque Sáenz Peña, que alberga el 95%. Se presentó un incremento del 5,2% en comparación con el censo de 2010 (INDEC, 2023). La ciudad abarcaba aproximadamente 36 km² en 2022 y continúa en crecimiento, lo que hace imprescindible el uso de herramientas de gestión territorial que permitan un desarrollo urbano ordenado y sostenible, asegurando condiciones óptimas y beneficiosas a la población.

Figura 1 - Localización del área de estudio



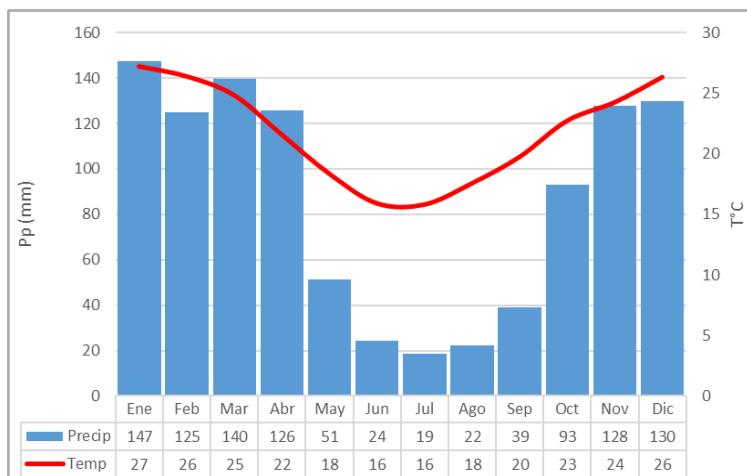
Fuente: IGN. Elaboración: los autores, 2024

Si bien la provincia tiene un clima subtropical sin estación seca (Beck *et al.*, 2018) o templado cálido húmedo (Bruniard, 1992), se puede distinguir tres zonas condicionadas por el gradiente pluviométrico, es decir, que las precipitaciones disminuyen hacia el occidente, en que los registros del oriente provincial duplican a los primeros (Cuadra *et al.*, 2020). Debido a esto, la vegetación igual se va

diferenciando en escalones pasando de ser Parques, Sabanas y Selvas de Ribera a Bosque Xerófilo. Como se advierte previamente podemos señalar que el Chaco se subdivide en “Chaco Oriental o Húmedo”, el “Chaco Central o de Transición” y el “Chaco Occidental o Seco”.

El climograma (Figura 2) expone que los meses de invierno tienen una marcada disminución en las precipitaciones, mientras que desde el mes de noviembre a abril las lluvias acumuladas superan todos los meses los 120 mm. Por su parte, las temperaturas más altas se registran entre diciembre y febrero, con un promedio de 26°C a 27°C. En contraste, los meses más fríos presentan una temperatura media de 16°C, lo que refleja una amplitud térmica de 10°C entre las estaciones más extremas.

Figura 2 - Climograma de Presidencia Roque Sáenz Peña 1959 – 2022



Nota: Precip - Precipitaciones medias mensuales. Temp - Temperaturas medias mensuales. Fuente: Servicio Meteorológico nacional (SMN, 2022), comunicación personal, 30 de abril de 2022; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, s.f.). Elaboración: los autores, 2024

Materiales

El tratamiento estadístico de datos meteorológicos necesarios para evaluar el comportamiento de la temperatura del aire, humedad y viento se obtuvo de dos fuentes principales: el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, s.f.) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2022) para el período 1959-2022 con una frecuencia diaria. Posteriormente, se calcularon los promedios mensuales y anuales.

Estas series de datos se pre-analizaron con scripts desarrollados en R (RStudio, 2024) para identificar datos anómalos o cualquier estimación derivada de los errores de los sensores. Dada la extensión de las series temporales, se aplicaron técnicas de relleno (gap-filling) para obtener una serie completa y estadísticamente significativa para evaluar el confort. Para su desarrollo, se siguieron los pasos metodológicos explicados en Ferrelli *et al.* (2024).

Métodos

La metodología aplicada en este estudio se realizó con la finalidad de identificar señales de calentamiento urbano y su posterior impacto sobre el confort térmico. En una primera instancia, se describen los pasos metodológicos llevados a cabo para analizar las series de tiempo e identificar los posibles cambios térmicos. Por otro lado, se aplicaron índices de confort para estudiar la evolución temporal de la sensación térmica durante los veranos e inviernos en la ciudad, para observar su impacto sobre los habitantes.

Análisis del calentamiento urbano

Los datos meteorológicos de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento a 10 m, obtenidos de las fuentes INTA y SMN mencionadas, se analizaron por separado debido a su importancia como

componentes clave en la medición de los índices de confort térmico. Estos datos se ordenaron con la finalidad de subsanar fechas con valores faltantes o erróneos (ambos menores al 5%), y posteriormente se calcularon los promedios anuales. Además, se determinó el comportamiento normal anual de cada parámetro a lo largo de toda la serie de datos (1959 – 2022), con la siguiente fórmula:

$$\text{Normal anual} = A_1 + A_2 + \dots + A_x / n \quad (1)$$

Fuente: Piccolo y Perillo, 2024

A_1 representa el primer año analizado, se sumó a los demás hasta llegar al último año A_x , y luego se dividió por el número total de años n . La obtención del comportamiento normal anual permitió identificar las anomalías para cada variable en todos los años de estudio, aplicando la fórmula de anomalías:

$$\text{Anomalía}_{\text{año}} = \text{valor medio}_{\text{año}} - \text{valor medio anual} \quad (2)$$

Fuente: Piccolo y Perillo, 2024

Para cada anomalía anual, se restó la media anual del año correspondiente con la normal anual, repitiendo este proceso para todos los años en estudio. Finalmente, esta información se representó en gráficos de barras para facilitar su interpretación (Figura 3).

En el estudio del calentamiento urbano, se analizaron las temperaturas máximas y las mínimas. Para ello, se calcularon tendencias lineales utilizando la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1955) con un umbral de significancia de $\alpha = 0,05$. Esto se aplicó a las series anuales de temperatura máxima y mínima. Además, para cuantificar las tasas de cambio, se aplicó el estimador de pendiente de Sen (Sen 1968) utilizando el paquete "trend" para RStudio (Pohlert, 2016). El uso de esta técnica presenta dos beneficios principales. En primer lugar, al ser una prueba no paramétrica, los datos no necesitan seguir una distribución normal. En segundo lugar, las series temporales heterogéneas utilizadas en esta prueba han demostrado presentar una baja sensibilidad a cambios abruptos (Hamed, 2008).

Por otro lado, para evaluar la variación temporal en el clima del área de estudio, se aplicaron puntos de quiebre o inflexión sobre las series temporales de temperaturas máximas y mínimas, así como de precipitaciones para el período 1959-2022. Mediante este análisis, se identificaron cambios en la tendencia lineal de las series temporales. Posteriormente, se aplicaron puntos de quiebre lineales por partes para reconocer cualquier fluctuación significativa en la media y la varianza, utilizando el paquete Strucchange del software RStudio (2024). Esta identificación de segmentos permitió dividir las series temporales de manera adecuada e identificar los momentos en que el calentamiento urbano cambia. se ajustó el número de puntos de quiebre de modo que los intervalos de confianza de los diferentes puntos no se superpongan (Abbate et al., 2017). Este enfoque analítico, comúnmente utilizado en meteorología, permite identificar diferencias dentro de las series temporales.

En este contexto, se determinaron dos subperíodos (A y B) para cada variable: el primero, que abarca desde 1959 hasta el año del cambio (punto de quiebre), y el segundo, que comienza en el año del punto de quiebre y finaliza en 2022. Posteriormente, se calcularon las tendencias de ambas series para detectar señales de calentamiento urbano en el área de estudio. Estas tendencias se compararon mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov de dos colas, con un nivel de significancia del 95%, tal como se realizaron en trabajos previos como, por ejemplo, Ferrelli et al. (2019).

Análisis del confort térmico

Para calcular el confort climático, se evaluaron los datos diarios correspondientes a los períodos de verano (21 de diciembre al 20 de marzo) e invierno (21 de junio al 20 de septiembre). A partir del análisis de anomalías anuales, se identificó un año con comportamiento normal (año 1982), es decir, aquel cuya anomalía se acercó más al valor normal anual. Además, se determinó un año con anomalías negativas, indicando condiciones más frías de lo habitual (año 1962), y otro con anomalías positivas, representando un período más cálido de lo normal (año 2012).

Para la estación estival, el índice más utilizado para evaluar las condiciones de confort térmico es el *Humidex*. Este índice cuantifica la incomodidad humana en el ambiente, se calcula considerando la temperatura del aire y la humedad relativa, lo que ofrece una medida más precisa de cómo percibe el cuerpo humano el calor en comparación con la temperatura del aire sola. Este fue creado por Masterton y Richardson en 1979 como herramienta para evaluar el confort térmico y para alertar sobre riesgos a la salud relacionados. Para calcular el *Humidex*, se aplica la siguiente fórmula:

$$TH = T + (5 / 9) * (e - 10) \quad (3)$$

La temperatura del aire (T) está en grados Celsius y la presión de vapor de agua (e) en hPa (Ferrelli; Piccolo, 2017). Los parámetros térmicos e higrométricos se normalizaron a una media diaria y organizados en un archivo de Excel (Microsoft Corporation, 2016) lo que permitió, de manera automatizada, obtener los valores de *Humidex* en grados Celsius y graficarlos.

De entre los diversos índices que miden confort térmico, se seleccionó el *Humidex* debido a su fácil interpretación y a su uso generalizado a nivel mundial, especialmente en regiones en que las altas temperaturas y los niveles elevados de humedad relativa son constantes. Además, proporciona una medida más precisa del malestar térmico percibido por las personas. Para su fácil interpretación se clasifica para los valores en tres categorías: entre 20°C y 29°C “confortable”, es decir, se percibe como una sensación sin incomodidad; de 30°C a 39°C “alguna incomodidad”, lo cual indica una sensación de incomodidad moderada; mientras que desde los 40°C hasta 45°C es un “gran incomodidad” y se debe tener precaución con el malestar que puede causar a la población (Ferrelli; Piccolo, 2017).

Por su parte el *Wind Chill Index* se aplicó para estimar las condiciones de confort invernal. Es un índice muy utilizado por la capacidad de expresar la temperatura percibida por las personas en las estaciones frías, permitiendo evaluar los posibles riesgos a la salud que puede afrontar la población y así tomar precauciones de ser necesario. Este se desarrolló por Paul Siple y Charles Passel (1945) para examinar el efecto de la temperatura en la sombra y la influencia que ejerce el viento en el enfriamiento, lo que derivó en la fórmula para calcular la incomodidad térmica en invierno (Doğan; Vural; Tuğrul, 2020). Dicha fórmula es la siguiente:

$$T(w) = 13,12 + 0,6215 * Tair - 11,37 * V^{0,16} + 0,3965 * Tair * V^{0,16} \quad (4)$$

T(w) es el índice de enfriamiento por el viento expresado en grados Celsius, Tair es la temperatura del aire y V es la velocidad del viento a 10 metros, medido en metros sobre segundos (Piccolo; Díez, 2008). Otra vez en este índice se ordenaron los promedios diarios de las variables atmosféricas mencionadas en la fórmula, para su cálculo mediante la tabla Excel y la obtención del resultado en grados Celsius. Dicho resultado se categoriza en cuatro intervalos, en este caso entre los 0°C y 9°C es considerado “frío” para esta área de estudio e incómodo para la población pero no interfiere con las labores o el bienestar; desde los 10°C a 19°C, se considera “fresco” y más cómodo que la categoría anterior; mientras que entre 20°C y 29°C es una sensación “confortable” aunque sea un poco más alta que el promedio correspondiente al invierno; así también más de 30°C ya representa “alguna incomodidad” y son valores muy elevados para la estación estudiada.

RESULTADOS

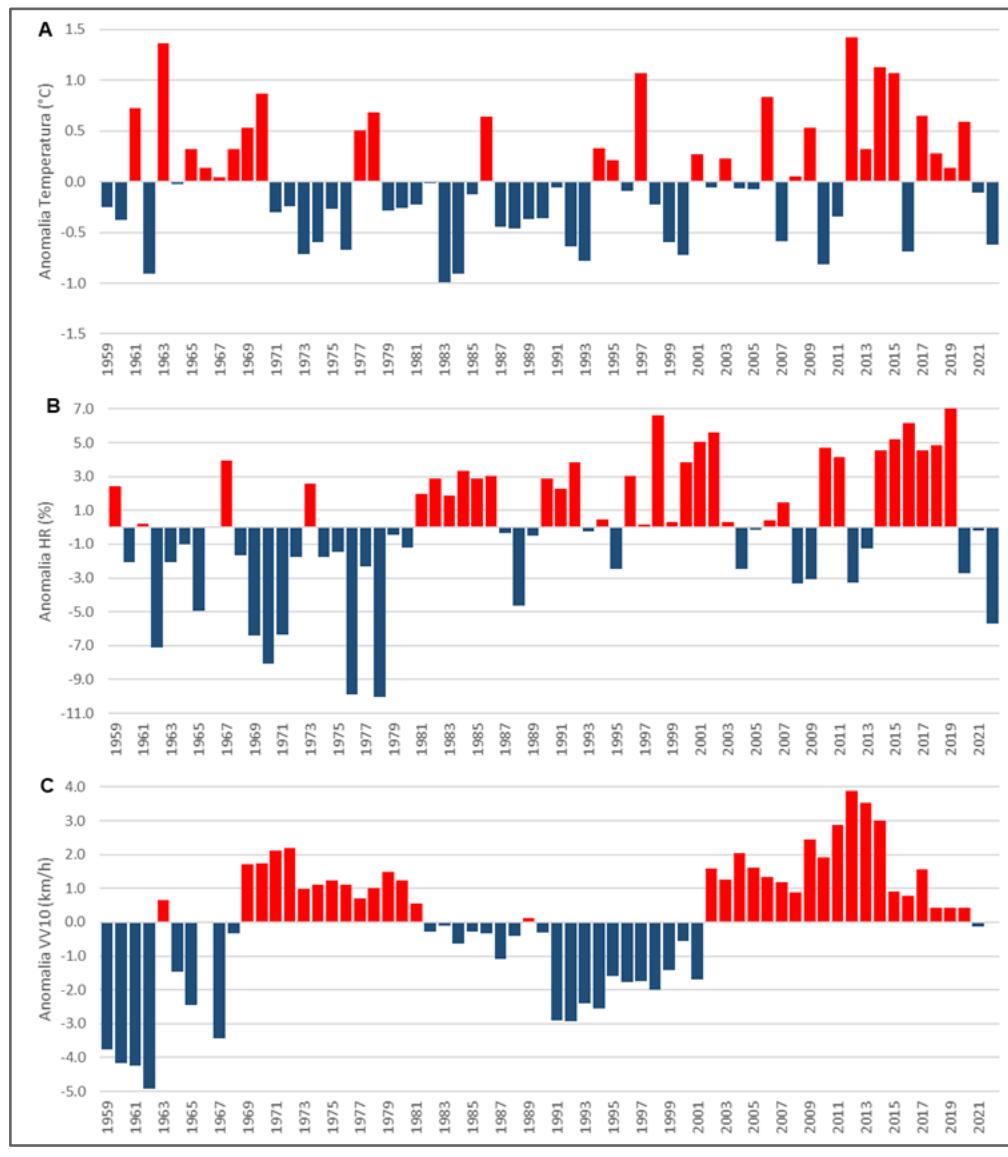
En este apartado se presentaron los resultados de acuerdo con la descripción metodológica. De esta manera, en una primera instancia, se analizaron las anomalías climáticas, luego los cambios térmicos y la identificación de señales de calentamiento urbano. Posteriormente, se evaluó el confort climático de verano e invierno para el año promedio (1959-2022), el más cálido (2012) y el más frío (1962).

Análisis del calentamiento urbano

En virtud de tener un contexto de la variabilidad climática en el comportamiento atmosférico presente en el área de estudio, se graficaron y analizaron las anomalías anuales (Figura 3). Se registraron 14 años con anomalías negativas de temperatura, es decir, promedios anuales de -0,5°C o inferiores al valor medio del período. En contraste, hubo 15 años con anomalías positivas, superiores de 0,5°C. Es relevante destacar que ninguno de los años más fríos presentó una anomalía menor a -1°C, mientras que si hubo cinco años con anomalías superiores a 1°C en lo que respecta a las altas temperaturas (Figura 3A). En particular a partir del año 2012 se visualizó una predominancia de eventos cálidos donde incluso se encuentran tres años con valores superiores a 1°C de anomalía. Por su parte, la humedad relativa (HR) mostró un aumento del 5% por encima del promedio durante cinco años a partir de 1998. Sin embargo, en los años previos, específicamente entre 1962 y 1979, la HR se mantuvo notablemente inferior, con valores de hasta un 5% e incluso un 7% por debajo del promedio, indicando una tendencia negativa en las primeras tres décadas y una tendencia positiva en los últimos 30 años (Figura 3B). En cuanto a la velocidad del viento a 10m de altura (VV10), se observó una alternancia en las anomalías a lo largo de las décadas: la década de 1959 a 1969 presentó anomalías negativas de hasta un -4%, mientras que hasta 1981 se registraron valores positivos, alcanzando hasta un 2% por

encima del promedio. Posteriormente, se presentaron anomalías negativas hasta 2001, seguidas de un periodo con anomalías positivas destacadas por superar al 3% en VV10 (Figura 3C). Durante el período 2000-2022, se destacaron las anomalías positivas en las tres variables analizadas, en que la temperatura superó los 0,5°C durante siete años, la humedad relativa tuvo valores mayores al 3% durante 11 años, mientras que por 19 años consecutivos la velocidad del viento se mantuvo solo con anomalías positivas.

Figura 3 - Anomalías anuales en Presidencia Roque Sáenz Peña (1959-2022). A - Temperatura Media. B - Humedad Relativa (HR). C - Velocidad de viento a 10 metros (VV10)



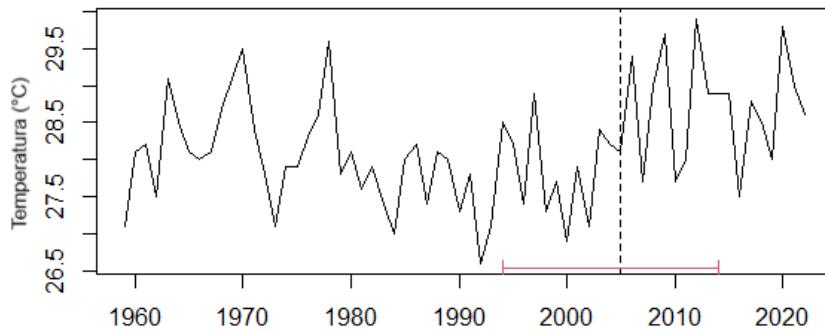
Elaboración: los autores, 2024

En relación con el análisis del calentamiento urbano, se observó que la temperatura mínima, no evidenció cambios estadísticos significativos de una tendencia positiva en el período 1959-2022 (valor $p = 0,22$). No obstante, se observó una ligera tendencia al alza en la pendiente de esta variable, con un aumento de 0,007°C/año durante el período analizado, lo que equivale a 0,4°C en total (Figura 4).

A pesar de lo anteriormente mencionado, se detectó un cambio estructural significativo en la serie temporal de temperaturas medias anuales. El punto de inflexión se identificó en 2005, con evidencia estadística (valor $p < 0,05$). Esto delineó un período más fresco (1959-2005) con una temperatura máxima promedio de 28°C y otro más cálido (2005-2022) con una media de 28,8°C (Figura 4). Estos

hallazgos subrayan los efectos del calentamiento en el área de estudio, en que las temperaturas máximas exhiben una tendencia positiva y significativa, indicando señales notorias de calentamiento global. Este aumento coincide con el período en el que la ciudad experimentó un notable crecimiento poblacional, densificación y expansión horizontal, lo que contribuyó al incremento de la temperatura.

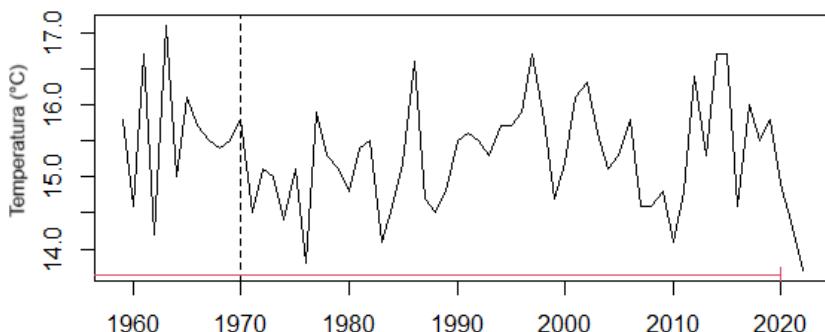
Figura 4 - Distribución anual de la temperatura máxima para Roque Sáenz Peña durante el período 1959-2022.



Elaboración: los autores, 2024

Sin embargo, la temperatura mínima no mostró cambios estadísticamente significativos durante el período de estudio, manteniendo un comportamiento estable a lo largo de la serie analizada (Figura 5). A pesar de esto, se encontró evidencia estadística de un cambio en la varianza y el valor medio de la serie temporal. El punto de inflexión se identificó en el año 1970, dividiendo esta variable en dos períodos distintos. El primero, con un valor medio de 15,6°C (1959-1970) y el segundo, más fresco, con 15,3°C (1970-2022) (Figura 5). Aunque la diferencia térmica no resulte climáticamente relevante, existe una tendencia al enfriamiento en las temperaturas mínimas, lo que podría impactar en la ocurrencia de eventos más fríos en el futuro. Estos resultados remarcán la importancia de analizar las series temporales mediante estas técnicas, ya que permiten establecer patrones climáticos cruciales que debemos enfrentar en la actualidad.

Figura 5 - Distribución anual de la temperatura mínima para Roque Sáenz Peña durante el período 1959-2022



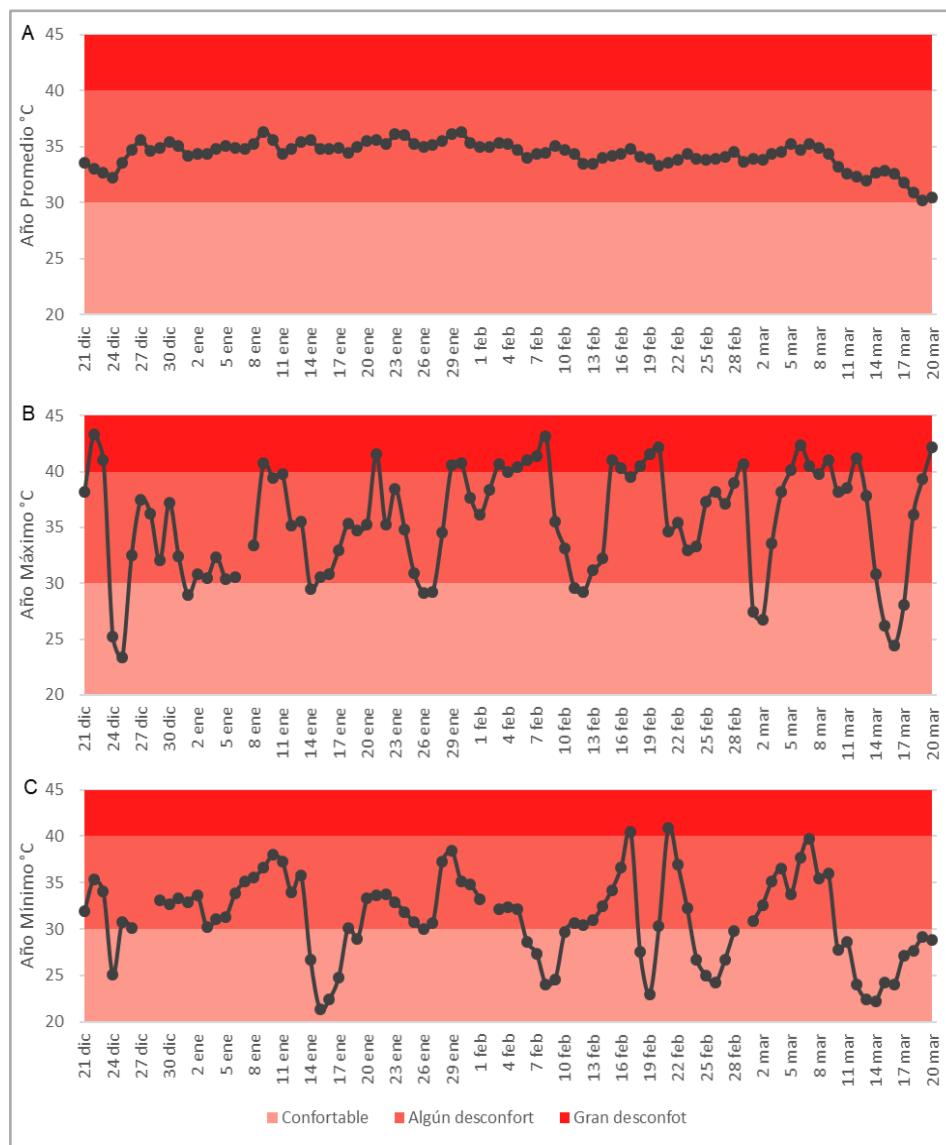
Elaboración: los autores, 2024

Análisis del confort térmico

Una vez identificadas las señales de calentamiento urbano, se calculó el índice *Humidex* (Figura 6). Para su evaluación, se tuvieron en cuenta tres años con diferentes comportamientos térmicos. En el caso del verano promedio, el confort térmico osciló entre los 34°C y 36°C, lo que corresponde a la categoría de "alguna incomodidad" indicando que las personas experimentan un nivel moderado de incomodidad (Figura 6A). Por su parte, al analizar un año con anomalías positivas de temperatura como

el 2012, se observa a la mayoría de los días en la categoría de “alguna incomodidad”, pero alrededor de 27 días (equivalente al 30% del período) con “gran incomodidad”, esto sugiere que, durante esos días, la sensación térmica o las condiciones ambientales son percibidas como muy desfavorables, afectando negativamente el bienestar y la comodidad de las personas (Ferrelli; Piccolo, 2017). Sin embargo, también se registran 13 días, es decir, el 14% del período, con condiciones ideales o “confortables” para el cuerpo humano (Figura 6B). Por último, un verano con anomalías negativas de temperatura, es decir, más fresco, como 1962, solamente hubo dos días de gran incomodidad y 29 días (32% de la estación) considerados “confortables”, mientras que el resto del trimestre se mantuvo en niveles de incomodidad moderada (Figura 6C).

Figura 6 - Resultados del índice Humidex para verano. A - Año promedio. B - Año más cálido. C - Año más frío

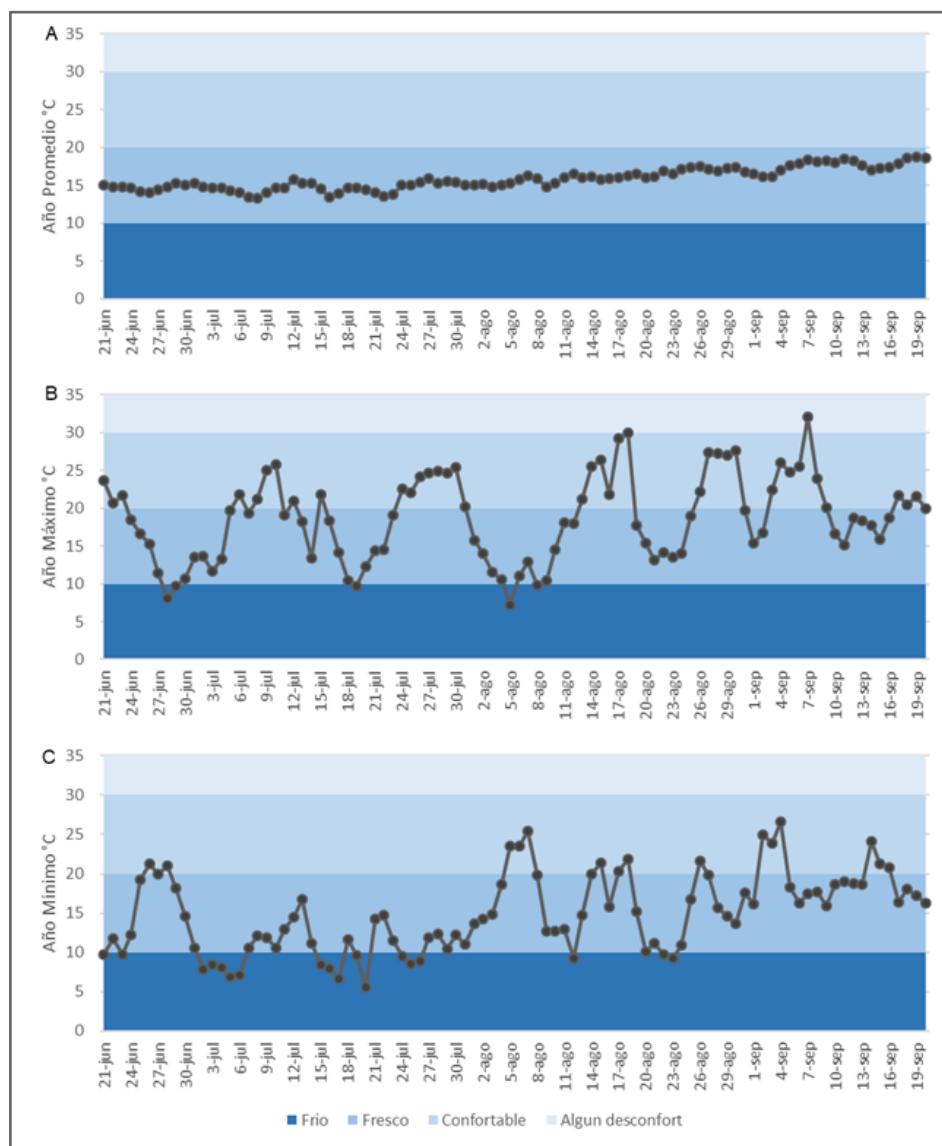


Elaboración: los autores, 2024

En contraste, la situación en los meses de invierno se representó mediante el índice Wind Chill (Figura 7). En el año promedio, las temperaturas diarias oscilaron entre los 14°C y 19°C, una situación un poco confortable, si bien es fresca aún es buena para el desarrollo de las actividades de las personas (Figura 7A). Por otro lado, en un año cálido como 2012, se registró un 40% (37 días) con confort térmico entre los 20°C y 30°C, lo cual tiende a ser bastante cómodo para la mayoría de la población y generalmente

se considera agradable. Sin embargo, estas temperaturas pueden considerarse altas para la temporada, especialmente cuando superan los 30°C, situación que se presentó durante dos días. Sumado a eso, durante el resto del trimestre, la sensación térmica se mantuvo dentro del rango promedio, excepto en cuatro jornadas en las que descendió por debajo de los 10°C, aunque sin bajar de 5°C. Para estas latitudes, tales condiciones pueden considerarse frías (Figura 7B). Finalmente, el *Wind Chill* en un año anormalmente fresco, como 1962, se caracteriza por un mayor número de días con temperaturas por debajo de los 10°C y ninguno cercano a los 30°C, predominando una sensación de moderadamente fresca a fría (Figura 7C).

Figura 7 - Resultados del índice Wind Chill para invierno. A - Año promedio. B - Año más cálido. C - Año más frío



Elaboración: los autores, 2024

CONSIDERACIONES FINALES

La evolución del calentamiento urbano y su impacto sobre el confort durante los últimos 60 años en Presidencia Roque Sáenz Peña, puso de manifiesto la influencia del calor urbano sobre el confort térmico de la población de una ciudad representativa de los climas subtropicales con estación seca de Argentina.

La sensación de confort medida mediante el índice *Humidex* apuntó que la situación promedio de Presidencia Roque Sáenz Peña está en valores incomodidades, llegando incluso a gran incomodidad con frecuencia. Esto resalta la urgencia de tomar acción en la inmediatez para evitar efectos negativos en la población. En contraste, durante los meses de invierno, los valores de confort térmico calculados mediante el *Wind Chill* se mantuvieron en niveles en general confortables, posiblemente relacionados con las condiciones climáticas de las áreas subtropicales como la investigada. Sin embargo, es importante señalar que el índice no descendió por debajo de una sensación térmica de 5°C, y en años cálidos, pudo rondar los 30°C, lo cual podría considerarse caluroso para la estación invernal.

La incomodidad térmica, asociada con malestar, riesgos a la salud y menor productividad en la población, subraya la necesidad de abordar este problema. Por lo tanto, se espera que este estudio sea provechoso como referencia y base para futuras investigaciones, permitiendo su contraste a lo largo de diferentes períodos de tiempo. Además, se debe buscar identificar las deficiencias particulares en la morfología de la ciudad, con el fin de desarrollar soluciones adecuadas a su gestión.

REFERENCIAS

- ABBATE, M.C.L.; MOLINERO, J.C.; GUINDER, V.A.; PERILLO, G.M.; FREIJE, R.H.; SOMMER, U.; SPETTER, C.V.; MARCOVECCHIO, J.E. Time-varying environmental control of phytoplankton in a changing estuarine system. **Science of the Total Environment**, v. 609, p. 1390-1400, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.002>
- ALONSO GARCÍA, M. S.; FIDALGO MARTÍNEZ, M. DEL R.; LABAJO SALAZAR, J. L. El clima de las ciudades: isla de calor de Salamanca. **Revista salud ambiental**, v. 4, n. 1-2, p. 25-29, 2004. Disponible en: <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/344>. Acceso en: 7 oct. 2024.
- BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific data**, v. 5, n.1, p. 1-12, 2018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- BRUNIARD, E. Climatología. Procesos y tipos climáticos. **Colección Geográfica**. Buenos Aires: Editorial Ceyne, 1992.
- CALLEJAS OCHOA, L. F.; ECHEVERRI, M. M.; PUERTA SEPÚLVEDA, M. S.; ARROYAVE MOLINA, V.; SILVA NEVES, M. **Revista Habitat Sustentable**, v.13, n. 1 p. 68-83, 2023.
<https://doi.org/10.22320/07190700.2023.13.01.06>
- CHACO DÍA POR DÍA. Sáenz Peña conmocionada: estiman que 14 personas fallecieron en los últimos 5 días por el calor extremo. 13 de febrero 2025. Disponible en:
<https://chacodiapordia.com/saenz-peña-conmocionada-estiman-que-14-personas-fallecieron-en-los-ultimos-5-dias-por-el-calor-extremo/>. Acceso en: 20 mar. 2025.
- CUADRA, D. E.; BONFANTI, F. A.; ANDRADA, R. F.; GOLEMBA, F. E. **El bosque nativo chaqueño**. Estudio geoforestal de su explotación. Editorial de la Universidad Nacional del Nordeste (EUDENE). Resistencia, 2020.
- DIACONESCU, E.; SANKARE, H.; CHOW, K.; MURDOCK, T. Q.; CANNON, A. J. A short note on the use of daily climate data to calculate Humidex heat-stress indices. **International Journal of Climatology**, v. 43, n. 2, p. 837-849, 2023. <https://doi.org/10.1002/joc.7833>
- DIARIO LA VOZ DEL CHACO. Alerta en Sáenz Peña: en cinco días murieron 14 personas por la ola de calor. 13 de febrero 2025. Disponible en: <https://www.diariolavozdelchaco.com/2025/02/13/alerta-en-saenz-peña-en-cinco-días-murieron-14-personas-por-la-ola-de-calor>. Acceso en: 20 mar. 2025
- DIARIO NORTE. El calor extremo se cobró una vida y hubo varios internados en Sáenz Peña. 7 de febrero 2024. Disponible en: <https://www.diarionorte.com/252724-el-calor-extremo-se-cobro-una-vida-y-hubo-varios-internados-en-saenz-peña>. Acceso en: 7 oct. 2024.
- DOĞAN, M.; VURAL, E.; TUĞRUL, A. V. C. I. Determination of Comfort Areas According to the Wind Chill Index of the Central Anatolia Region. Kastamonu University **Journal of Engineering and Sciences**, v. 6, n. 2, p. 84-94, 2020. Disponible en:
<https://dergipark.org.tr/en/pub/kastamonujes/issue/58573/824493>. Acceso en: 7 oct. 2024

- ESCARDÓ, A. L. Contribución al concepto de clima. **Territoris: Revista del Departament de Ciències de la Terra**, v. 1, p. 203-214, 1998. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=197760>. Acceso en: 7 oct. 2024.
- ESCARDÓ, A. L. Clima y cambio climático. **Revista del Aficionado a la Meteorología (RAM)**, v. 26, 2010. Disponible en: <https://www.divulgameteo.es/Clima-y-cambio-climatico/>. Acceso en: 7 oct. 2024.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F.; MARTILLI, A. El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. **Revista Índice**, v. 50, p. 21-24, 2012. Disponible en: <http://www.revistaindice.com/numero50/>. Acceso en: 7 oct. 2024.
- FERRELLI, F.; PICCOLO, M. C. Estudio del confort climático a escala micro-local. El caso de Bahía Blanca (Argentina). **Bitácora Urbano Territorial**, vol. 27, n. 3, p. 91-100, 2017. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v27n3.56995>
- FERRELLI, F.; BRENDL, A.; ALIAGA, V.; PICCOLO, M.; PERILLO, G. Climate regionalization and trends based on daily temperature and precipitation extremes in the south of the Pampas (Argentina). **Cuadernos de Investigación Geográfica**, Logroño, SPA, v. 45, n. 1, p. 393–416, 2019. <https://doi.org/10.18172/cig.3707>
- FERRELLI, F.; PONTRELLI ALBISSETTI, M.; BRENDL, A. S.; CASONI, A. I.; HESP, P. A. Appraisal of Daily Temperature and Rainfall Events in the Context of Global Warming in South Australia. **Water** v. 16, n. 2, p. 351, 2024. <https://doi.org/10.3390/w16020351>
- HAMED, K.H. Trend detection in hydrologic data: The Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis. **J. Hydrol.**, v. 349, p. 350–363, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>
- HO, H. C.; KNUDBY, A.; XU, Y.; HODUL, M.; AMINPOURI, M. A comparison of urban heat islands mapped using skin temperature, air temperature, and apparent temperature (Humidex), for the greater Vancouver area. **Science of the Total Environment**, v. 544, p. 929-938, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.021>
- IGN – Instituto Geográfico Nacional. **Capas SIG**. s.f. Disponible en: <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>. Acceso el: 20 mar. 2025.
- INDEC - Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022: **Resultados definitivos – Chaco. Instituto Nacional de Estadística y Censos**. 2023. Disponible en: https://censo.gob.ar/index.php/datos_definitivos_chaco/. Acceso en: 7 oct. 2024.
- INTA - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Sistema de Información Geográfica del INTA (SIGA). s.f. Disponible en: <https://siga.inta.gob.ar/#/data>. Acceso el: 10 mar. 2023.
- KENDALL, M.R. **Rank Correlation Methods**, 4th ed. Chareles Griffin: London, UK, 1955.
- LÓPEZ TRIGAL, L. **Diccionario de geografía aplicada y profesional**: terminología de análisis, planificación y gestión del territorio. Universidad de León. Ed. Universidad de León, p. 627, 2015. ISBN: 978-84-9773-722-0.
- LÓPEZ, P. E. **Cambios en las coberturas de tierra y sus impactos en la temperatura del departamento Comandante Fernández (Chaco, Argentina)**. [Tesis de Licenciatura no publicada]. Facultad de Humanidades. Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), 2024.
- MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. **Econometrka**, v. 13, p. 245–259, 1945. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- MASTERTON, J. M.; RICHARDSON, F. A. **Humidex**: a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. Environment Canada, Atmospheric Environment, Downsview, Ont., 1979.
- MICROSOFT CORPORATION. **Microsoft Excel** (versión 2016). [Software]. Disponible en: <https://www.microsoft.com>
- MIRÓ PÉREZ, J. J.; OLCINA, J. Cambio climático y confort térmico. Efectos en el turismo de la Comunidad Valenciana. Universidad de Alicante. **Investigaciones Turísticas**, v. 20, p. 1-30, 2020. <https://doi.org/10.14198/INTUR2020.20.01>

OCHOA DE LA TORRE, J. M.; MARINCIC LOVRIHA, I.; ALPUCHE CRUZ, M. G. Análisis del confort climático para la planeación de sitios turísticos. In: A INTERNATIONAL CONFERENCE VIRTUAL CITY AND TERRITORY, 5., Barcelona, 2,3 and 4 June 2009". Barcelona: Centre de Política de Sòl i Valoracions, p. 481-48, 2009. <https://doi.org/10.5821/ctv.7588>

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN. A.; VOGT, J. A. **Urban Climates**. Cambridge University Press. 2017. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>

PASQUEVICH, D. M.; SPURIO, S. M. ¿Sabías que existe una definición técnica de confort térmico? **Sabías que**, v. 6, 2019. Disponible en: <https://nuclea.cnea.gob.ar/handle/20.500.12553/1245>. Acceso en: 07 de oct. 2024.

PÉREZ, J.; GÓMEZ, M. Análisis del desempeño térmico en viviendas de interés social en Colombia frente al cambio climático. **Revista de Ingeniería, Arquitectura y Construcción**, v. 9, n. 1, p. 68-82, 2023. <https://doi.org/10.4067/S0719-07002023000100068>

PICCOLO, M. C.; DIEZ, P. G. Cold and heat impact on human comfort in the Bahía Blanca estuary harbours (Argentina). **Cuadernos de investigación geográfica**, v. 34, p. 119-131, 2008. <https://doi.org/10.18172/cig.1210>

PICCOLO, C.; PERILLO, V. **Introducción al análisis de una serie de tiempo para caracterizar los elementos climáticos y sus anomalías**. 2024. Trabajo práctico de posgrado - Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.

POHLERT, T. Non-parametric trend tests and change-point detection. **CC BY-ND**, v. 4, p.1-18, 2016. Disponible en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>. Acceso en: 7 oct. 2024.

RSTUDIO TEAM. **RStudio**: Integrated Development Environment for R (versión 2024.04.2-764). [Software]. Disponible en: <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>. Acceso en: 7 oct. 2024.

SANTOS, R.; SILVA, A. Análise da sustentabilidade em projetos de urbanização: Desafios e perspectivas. **Revista Latino-Americana de Administração e Sustentabilidade**, v. 10, n. 1, p. 45-59, 2023. Disponible en: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/rlaac_sustentabilidade/article/view/3926/3787 Acesso em: 10 oct. 2024.

SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>

SMN - Servicio Meteorológico Nacional. **Datos meteorológicos de temperaturas diarias para Chaco (1959-2022)** [Archivo DAT] 2022. Correo electrónico dirigido a Paula López.

SIPLE, P. A.; PASSEL, C. F. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. **Proceedings of the American Philosophical Society**, v. 89, n. 1, p. 177-199, 1945. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/985324>. Acceso en: 7 oct. 2024.

VILLAREJO, A. D. **Composición de la atmósfera**: factores que la modifican. 1er Panel: Funciones Vitales de la Atmósfera. Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia. 2009. Disponible en: https://core.ac.uk/outputs/230316628/?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1. Acceso en: 7 oct. 2024.

Recebido em: 28/11/2024

Aceito para publicação em: 26/03/2025