



**RIDAA**  
Repositorio Institucional  
Digital de Acceso Abierto de la  
Universidad Nacional de Quilmes



Universidad  
Nacional  
de Quilmes

Flores, Uriel Alberto

# Disconfort térmico urbano e impacto de la isla de calor en la calidad ambiental del área central de San Fernando del valle de Catamarca



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.  
Atribución - No Comercial - Sin Obra Derivada 2.5  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/>

Documento descargado de RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes de la Universidad Nacional de Quilmes

*Cita recomendada:*

Flores, U. A. (2025). *Disconfort térmico urbano e impacto de la isla de calor en la calidad ambiental del área central de San Fernando del valle de Catamarca. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/5648>*

Puede encontrar éste y otros documentos en: <https://ridaa.unq.edu.ar>

## **Disconfort térmico urbano e impacto de la isla de calor en la calidad ambiental del área central de San Fernando del valle de Catamarca**

**TESIS DE MAESTRÍA**

**Uriel Alberto Flores**

[geourielflores@gmail.com](mailto:geourielflores@gmail.com)

### **Resumen**

La temperatura es una de las variables meteorológicas que mayormente se destaca a la hora de caracterizar el clima de una zona urbana. Se presenta con una marcada sensibilidad al crecimiento y expansión de las ciudades, dando origen a la llamada isla de calor urbano. “La climatología urbana ha adquirido un notable desarrollo como respuesta a los problemas que acompañan al creciente proceso de urbanización” (Oke, 2014); y sirve sus elementos, como contenidos de aprendizaje e iniciativas para propuestas de orden ambiental o confort climático.

En los últimos años, existe una mayor tendencia al desarrollo de ecociudades o ecópolis, diseñadas para seguir principios ecológicos y contrarrestar las islas de calor urbanas, como una nueva aproximación del desarrollo sustentable, con mayor presencia de vegetación que equilibra la regulación térmica del espacio geográfico.

Se utilizaron distintas estadísticas de estaciones meteorológicas, mediciones con botones data-logger, teledetección e interpretación satelital, utilización de sensor termohigrómetro con sonda de ambiente, para la comparación térmica-urbana de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, en el Departamento Capital de la provincia de Catamarca, con los espacios adyacentes rurales y semi-rurales, cuyos datos generaron resultados que incentivan iniciativas de desarrollo sustentable, que permitan a lo largo de los años, mostrar mejores condiciones de hábitat poblacional para las próximas generaciones.

**Palabras clave:** temperatura - urbano – Ecópolis – desarrollo sustentable

### **Abstract**

Temperature is one of the meteorological variables that stands out the most when it comes to characterizing the climate of an urban area. It appears with a marked sensitivity to the growth and expansion of cities, giving rise to the so-called urban heat island. “Urban climatology has acquired a notable development as a response to the problems that



accompany the growing urbanization process” (Oke, 2014); and serves its elements as learning content and initiatives for proposals for environmental order or climatic comfort.

In recent years, there is a greater tendency towards the development of eco-cities or ecopolises, designed to follow ecological principles, as a new approach to sustainable development, with a greater presence of vegetation that balances the thermal regulation of the city.

Different statistics from weather stations, measurements with data-logger buttons, thermohygrometer sensor with ambient probe were used for the urban-thermal comparison of the city of San Fernando del Valle de Catamarca, in the Capital Department of the province of Catamarca, with the adjacent rural and semi-rural spaces, whose data generated results that encourage sustainable development initiatives, which allow, over the years, to show better conditions of population habitat for the next generations.

**Keywords:** temperature - urban - Ecópolis - sustainable development



**Flores, Uriel Alberto**

**DISCONFORT TÉRMICO URBANO E IMPACTO DE LA ISLA DE CALOR EN LA CALIDAD AMBIENTAL DEL ÁREA CENTRAL DE SAN FERNANDO DEL VALLE DE CATAMARCA**



**Año 2024**



**Maestría en Ambiente y Desarrollo Sustentable**

**Tesis para optar al título de Magíster en Ambiente y  
Desarrollo Sustentable. Mención Gestión Ambiental**

**DISCONFORT TÉRMICO URBANO E IMPACTO DE LA ISLA DE  
CALOR EN LA CALIDAD AMBIENTAL DEL ÁREA CENTRAL DE SAN  
FERNANDO DEL VALLE DE CATAMARCA**

**Autor: Lic. Uriel Alberto Flores**

**Director: Juan Rodolfo Barros (UNCA)**

**Facultad de Humanidades. Universidad Nacional de  
Catamarca.**

**San Fernando del Valle de  
Catamarca.**

### **Agradecimientos**

El aporte de cada uno de los que participaron en este trabajo, ha sido muy valorable con cada asesoramiento, quiero expresarles a cada una de estas personas:

¡MIL Y MUCHAS GRACIAS!

Y ¡ETERNAMENTE GRACIAS! a mi familia, que con su apoyo y aliento permitieron que pueda concluir este trabajo.

### **Dedicatoria**

Dedico especialmente este trabajo A MIS PADRES y MI FLIA., en ESPECIAL a mi Madre que desde el cielo, siempre tuve el sostén espiritual suficiente para continuar, dejando una huella imborrable en mi vida.

## **ÍNDICE DE CONTENIDO**

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abreviaturas                                                                                                                        | 6  |
| <b>Capítulo 1: Fundamentación y área de estudio</b>                                                                                 |    |
| 1.a. Fundamentación                                                                                                                 | 10 |
| 1b. Ubicación del área de estudio                                                                                                   | 11 |
| 1c. Trayecto histórico de la expansión urbana y evolución de la población<br>del área de estudio. Pavimentación del casco céntrico. | 14 |
| 1.d La base climática local, física y natural.                                                                                      | 20 |
| 1.e. Panorama global y regional en variabilidad climática.                                                                          | 24 |
| <b>Capítulo 2: El problema, hipótesis y objetivos</b>                                                                               | 27 |
| a. El problema                                                                                                                      | 28 |
| b. Hipótesis                                                                                                                        | 29 |
| c. Pregunta de investigación                                                                                                        | 29 |
| d. Objetivos de la investigación                                                                                                    | 25 |
| I. Objetivo general                                                                                                                 | 31 |
| II. Objetivos específicos                                                                                                           | 32 |
| III. Variables e indicadores utilizados                                                                                             | 32 |
| <b>Capítulo 3: Conceptos previos y elección de la problemática ambiental</b>                                                        | 33 |
| a. Isla de calor, recorrido histórico de sus conceptos                                                                              | 34 |
| b. Conceptualizaciones de Isla de Calor, y calidad ambiental urbana en el<br>contexto de variabilidad y cambio climático            | 35 |
| c. Condiciones sinópticas y circulación atmosférica influyente                                                                      | 36 |
| d. La selección del núcleo problemático de isla de calor como indicador de<br>sostenibilidad                                        |    |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Capítulo 4: Metodología de investigación</b>                                   | 38 |
| <i>a. Tipo de estudio</i>                                                         | 00 |
| <b>b. Resultados</b>                                                              | 00 |
| I. 1. Resultados del análisis de datos meteorológicos y mediciones.               |    |
| I. 2. Materiales y metodología                                                    |    |
| III. Resultados de encuesta                                                       | 00 |
| IV. Teledetección e interpretación satelital. NDVI e Isla de calor.               |    |
| V. Cálculos de Índices de Confort Térmico                                         | 65 |
| VI. Mapeo de Isla Térmica de índices y distribución                               | 71 |
| <b>Capítulo 5: Alternativas y reflexiones finales</b>                             |    |
| a. Planes urbanos y estratégicos en materia ambiental.                            |    |
| <b>Capítulo 6: sugerencias y aportes</b>                                          |    |
| 6.1 a 6.6. Ecópolis sustentable, propuesta de contenido desde educación ambiental | 87 |
| <b>Capítulo 7: Alternativas y reflexiones finales</b>                             |    |
| <i>c. Conclusiones</i>                                                            | 90 |
| <b>Conclusión final</b>                                                           | 90 |
| <b>Bibliografía</b>                                                               | 92 |
| <b>Anexos</b>                                                                     | 98 |
| <i>I – ANEXO I MUESTREO DE MEDICIONES</i>                                         | 99 |

### **Abreviaturas**

|              |                                                                           |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>GA</b>    | Gestión Ambiental                                                         |
| <b>FAO</b>   | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura |
| <b>UHI</b>   | Urban Heat Island                                                         |
| <b>ICU</b>   | Isla de Calor Urbana                                                      |
| <b>INDEC</b> | Instituto Nacional de Estadísticas y Censo                                |
| <b>ODS</b>   | Objetivos del desarrollo sostenible                                       |
| <b>OMM</b>   | Organización Meteorológica Mundial                                        |
| <b>ONG</b>   | Organización no gubernamentales                                           |
| <b>SMN</b>   | Servicio Meteorológico Nacional                                           |
| <b>UNCA</b>  | Universidad Nacional De Catamarca                                         |
| <b>DI</b>    | Índice de Discomfort Climático                                            |
| <b>THI</b>   | Índice de Discomfort por Temperatura - Humedad relativa                   |
| <b>GEE</b>   | Google Earth Engine                                                       |

### **INDICE DE FIGURAS, FOTOGRAFÍAS Y ESQUEMAS**

**Fotografía de Portada.** Fuente: Facebook. Fanpage: “Catamarca Capital  
“Imágenes de mi ciudad”.

| <b><u>FIGURA</u></b> | <b><u>PÁGINA</u></b> |
|----------------------|----------------------|
|----------------------|----------------------|

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| <b><u>Figura N°1:</u></b> Delimitación de sectores | 08 |
|----------------------------------------------------|----|

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b><u>Figura N°2:</u></b> Gráfico de Evolución de Evolución de la Población | 14 |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b><u>Figura N°3:</u></b> Aplicación de índice GHSL para espacios geográficos construidos | 15 |
| <b><u>Figura N°4:</u></b> Equipamiento e infraestructura urbana                           | 17 |
| <b><u>Figura N°5:</u></b> Modelo de Tendencia de Crecimiento                              | 18 |
| <b><u>Figura N°6:</u></b> Comparación de imágenes de pavimentación                        | 19 |
| <b><u>Figura N°7:</u></b> Retrato del Intendente Alderete Salas                           | 19 |
| <b><u>Figura N°8:</u></b> Comparaciones Históricas                                        | 20 |
| <b><u>Figura N°9:</u></b> Trazados de Expansión                                           | 21 |
| <b><u>Figura N°10:</u></b> Tabla de Promedios de temperatura 2000-2023                    | 23 |
| <b><u>Figura N°11:</u></b> Gráfico de Temperatura Media                                   | 24 |
| <b><u>Figura N°12:</u></b> Registro de Precipitaciones                                    | 24 |
| <b><u>Figura N°13:</u></b> Promedios de Precipitaciones                                   | 25 |
| <b><u>Figura N°14:</u></b> Velocidades de vientos                                         | 26 |
| <b><u>Figura N°15:</u></b> Reanálisis de datos de Anomalías de temperatura                | 27 |
| <b><u>Figura N°16:</u></b> Promedio de pixelado de temperatura 1950-2024                  | 28 |
| <b><u>Figura N°17:</u></b> Balance Climático en pixelado                                  | 28 |
| <b><u>Figura N°18:</u></b> Episodios típicos de verano                                    | 41 |
| <b><u>Figura N°19:</u></b> Tendencia de episodios muy caluroso en Primavera               | 42 |
| <b><u>Figura N°20:</u></b> Ubicación de dispositivos de medición                          | 44 |
| <b><u>Figura N°21:</u></b> Resistencia de termistor                                       | 45 |
| <b><u>Figura N°22:</u></b> Colección de imágenes del Aeropuerto Felipe Varela             | 47 |
| <b><u>Figura N°23:</u></b> Compendio de imágenes del parque Adán Quiroga                  | 48 |
| <b><u>Figura N°24:</u></b> Mapa térmico                                                   | 49 |
| <b><u>Figura N° 25:</u></b> Compendio de imágenes de edificios                            | 53 |
| <b><u>Figura N° 26:</u></b> Cálculo de distancia al Aeropuerto Felipe Varela              | 56 |
| <b><u>Figura N°27:</u></b> Inicio del Plan Forestal                                       | 59 |
| <b><u>Figura N°28:</u></b> imágenes de destrucción de plantines                           | 60 |



|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b><u>Figura N°29:</u></b> Tabla de variables empleadas en evaluación              | 61 |
| <b><u>Figura N°30:</u></b> Tabla de Referencias para impacto en el confort térmico | 62 |
| <b><u>Figura N° 31:</u></b> Mapa nocturno de discomfort                            | 63 |
| <b><u>Figura N°32:</u></b> Mapa diurno de discomfort                               | 64 |
| <b><u>Figura N°33:</u></b> Mapa de Índice NDVI (promedio)                          | 66 |
| <b><u>Figura N°34:</u></b> Mapa de Índice NDVI (Máximo)                            | 67 |
| <b><u>Figura N°35:</u></b> Mapa de Índice NDVI (Mejorado)                          | 68 |
| <b><u>Figura N° 36:</u></b> Compendio de fotografías de edificios sin vegetación   | 70 |
| <b><u>Figura N°37:</u></b> Compendio de imágenes 3D                                | 71 |
| <b><u>Figura N° 38:</u></b> Detección satelital de edificaciones                   | 72 |
| <b><u>Figura N°39:</u></b> Detección satelital y mapeo de edificaciones            | 73 |
| <b><u>Figura N°40:</u></b> Detección de índice Global de Modificación Humana       | 74 |
| <b><u>Figura N°41:</u></b> Clasificación de Detección de índice Humidex            | 77 |
| <b><u>Figura N°42:</u></b> Clasificación Detección de índice ZCL                   | 79 |
| <b><u>Figura N°43:</u></b> Detección de índice ZCL                                 | 80 |
| <b><u>Figura N°44:</u></b> Esquema de Ecópolis                                     | 85 |

# **Capítulo 1:**

**Fundamentación, ubicación del área  
de estudio y recorrido histórico**

## **1a. Fundamentación**

La Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, es una ciudad intermedia de la Región Centro Provincial, ubicada en la Diagonal Árida Argentina. Ocupa una superficie aproximada de 399 km cuadrados, parte de su geografía la constituye una extensa depresión tectónica delimitada al oeste por la Sierra de Ambato-Manchao y al este por la Sierra de Ancasti. En este contexto donde se evalúa el confort climático del Índice de calidad ambiental urbano, “contemplado en dimensiones del soporte físico-natural y del hábitat urbano” (Ramborger, 2018)

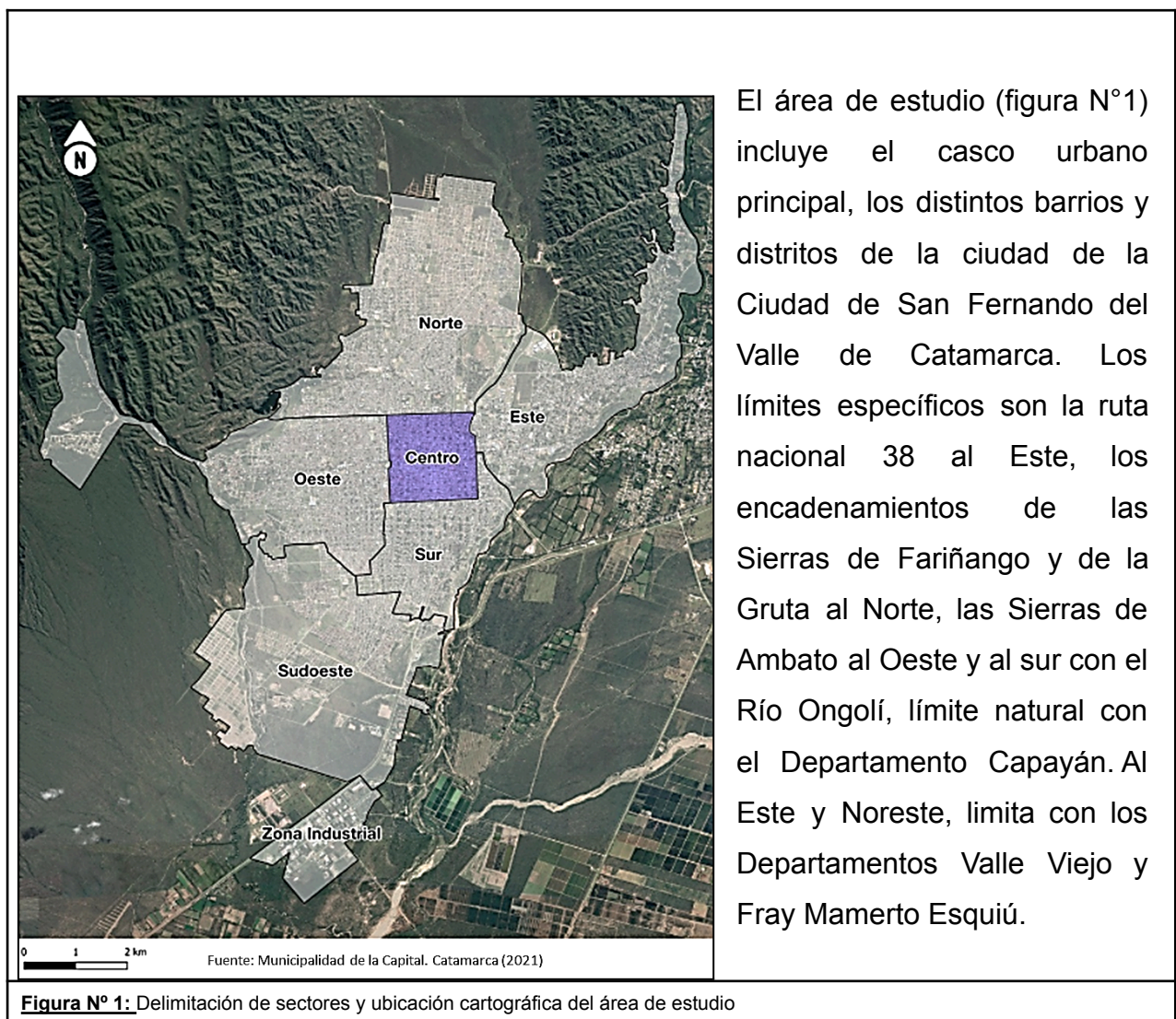
La relación naturaleza-sociedad existente en este espacio geográfico urbanizado, es afectada por la creciente problemática de la isla de calor que perjudica las condiciones de calidad ambiental al aire libre, salud y actividades cotidianas de la población que la habita y visita. “Las situaciones de disconfort ambiental por isla térmica, se aprecian en el momento de realizar movimientos urbanos cotidianos y prácticas turístico-recreativas” (García, 2009).

El área de estudio es la ciudad de la Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca. Esta área urbana analizada ha transformado su uso de suelo, la superficie urbana, la densidad poblacional, el tránsito vehicular y las actividades de la población, generando cambios en la climatología urbana, constituyéndose como el medio más artificial de los contruidos por el hombre, en la provincia de Catamarca, Identificando las causas que provocan la formación de este fenómeno, por ejemplo con indicadores asociados al reemplazo de superficies naturales por artificiales, selección de materiales del entorno urbano, aumento de calor antropogénico a través del tránsito vehicular, ausencia de vegetación y alto consumo de sistemas de climatización por las altas temperaturas, se deduce actualmente hacia una caracterización particular de este espacio geográfico de clima semiárido, que potencialmente en la estación estival, se le presenta fortalecido este “efecto”, a los habitantes que padecen la modificación del ambiente que lo rodea.

La indagación y la estimación hacia resultados que podrían ser provechosos, muestran propuestas de mitigación que tienen como principal énfasis estudiar la trayectoria solar y brindar sombras, incrementando vegetación arbórea autóctona y xerófila, desarrollando aprovechamiento de agua pluvial con jardines de lluvia y regadío, en reemplazo de superficies horizontales para aumentar su albedo, incrementando planes de forestación, con modificaciones que se realicen en materia energética, control de calor antropogénico interviniendo la configuración del cañón urbano y medidas de

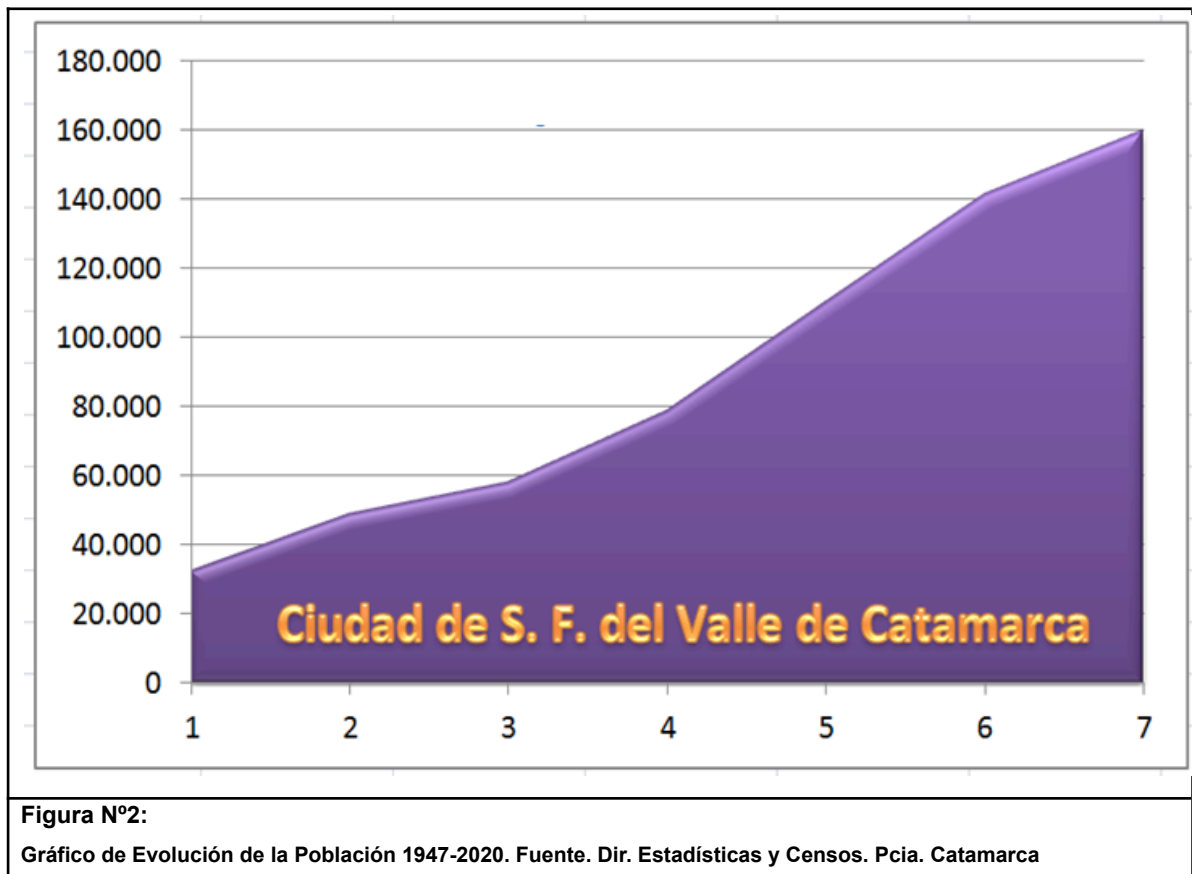
adaptación para mejorar el confort climático del índice de calidad ambiental, en el marco de políticas públicas que contengan un enfoque integral a través de instrumentos de la planificación urbana, reduciendo la vulnerabilidad a los efectos adversos de las altas temperaturas en el espacio público.

## 1b. Ubicación del área de estudio



Esta ciudad se encuentra en el Departamento Capital, en la región centro de la Provincia de Catamarca.

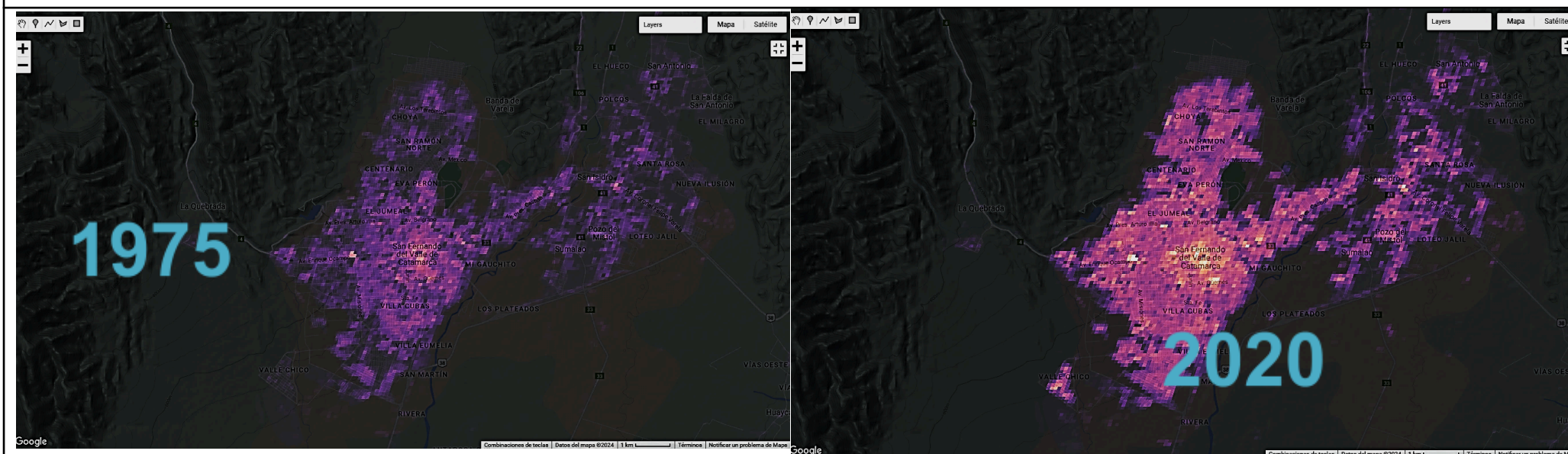
La Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, ha sufrido un importante aumento de la población y superficie edificada en los últimos años. (Gráfico N° 1)



La zona urbana construida se extendió de 35,19 km<sup>2</sup> (1984) a más de 65,56 km<sup>2</sup> (2019) y el incremento de la población fue de 50,4% en los últimos 40 años.

Las modificaciones en el espacio urbano, junto con una mayor densidad de edificios (Figura N° 3- **Índice GHSL**).

## Detección satelital de Índice GHSL: Volumen de construcción global 1975-2020



- 0  1 +

**Figura N°3:** Comparación de volumen de construcción global detectado por satélite mediante el índice GHSL (Global Human Settlement Layer) en San Fernando del Valle de Catamarca. Año 1975 (izquierda) y año 2020 (derecha). La escala de colores representa el grado de densidad construida: los tonos oscuros indican baja densidad (valor cercano a 0), mientras que los tonos amarillo-blancos representan las áreas con mayor densidad construida (valores cercanos a 1). Fuente: Elaboración propia en base a datos de Google Earth Engine / European Commission – Joint Research Centre.

Con metodología de análisis de conjunto de datos ráster se representa la distribución global del volumen de los edificios, expresado en metros cúbicos por celda de cuadrícula de 100 m. El conjunto de datos muestra el volumen total de edificaciones y construcciones de ampliación de los sectores Noreste y Sudoeste de la Ciudad. El diseño de los espacios urbanos modifica las variables atmosféricas que influyen en el balance energético del cuerpo; estas variables afectan el confort humano y el consumo de energía en áreas urbanas. (Oke, 2004; Ruiz et al., 2009).



### **1.c.I. Trayecto histórico de la expansión urbana del área de estudio. variables de influencia en las temperaturas**

La ciudad Capital en su historia urbanística constituye uno de los factores principales en la distribución de la isla de calor y el discomfort térmico. Fue fundada en 1683 por Don Fernando de Mendoza y Mate de Luna de la colonia española. Según menciona Espeche (2017), “mantiene el trazado de la época de la conquista en el casco céntrico y el proceso de crecimiento se vincula con diferentes ejes de fijación que han ido modificando el plano y su uso del suelo”.

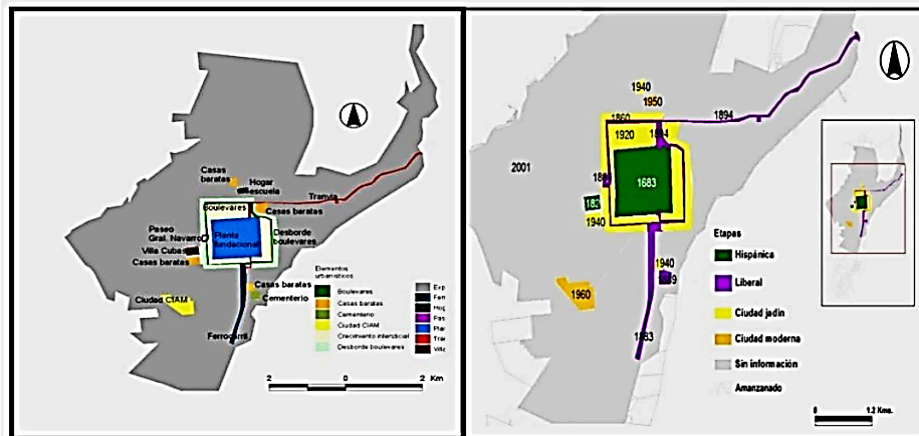
De acuerdo con el trabajo de Nicolini (1991), desde el punto de vista urbanístico se pueden establecer cuatro etapas que corresponden a cuatro modelos universales de ciudad. Estas etapas determinaron ciclos en el proceso de urbanización, los que se pueden identificar en la ciudad de Catamarca (Gráfico 1) (Mapa N° 2).

- Ciudad hispánica (1550-1860)
- Ciudad liberal (1860-1920)
- Ciudad jardín (1920-1950)
- Ciudad moderna (1950-1980)

En el ciclo de ciudad hispánica, se concreta con una traza cuadrangular, con características renacentistas, conformada por una figura de base cuadrada, con nueve cuadras de ancho por nueve cuadras de largo, más dos cuadras de ronda.

“La ordenanza dictada por Felipe II de 1573, determinaba que la traza de las ciudades en América, debían tener una plaza central rectangular donde en cada mitad de cuadra debía existir la presencia de cuatro calles principales por los ejes medianos que rodeaban la plaza” (Espeche, 2017). La plaza principal de este núcleo urbano, está ubicada en la manzana central del plano o cuadrícula rectangular.

**Figura N° 4:** Equipamientos e infraestructura que orientaron el crecimiento de la Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca.



**Fuente:** Etapas de configuración de la ciudad: caracterización urbano-edilicia. Palacios (1988)

“Desde su fundación se comportó como un espacio activo. A su alrededor estaban los principales edificios público - religiosos, concentraba tropas e intercambios comerciales, reservada en otros momentos para la vida social y el encuentro familiar” (Espeche, 2017). Palacios (1988) hace referencia a que “por transferencia de la ciudad española y de la cultura mediterránea en general, surge como ciudad seca, ya que el verde solo se circunscribe a los patios domésticos y quintas de manzanas de los alrededores”.

En el año 1859 se produce otra expansión hacia el sector oeste. Se realizó el estanque de La Alameda (hoy Paseo General Navarro), proyecto del arquitecto Luis Caravatti, quien llega a Catamarca en 1857. En este paseo se construye un lago para la provisión de agua potable y de riego a la ciudad, a partir de la captación desde el río El Tala. A través de canales se distribuía mediante acequias que atravesaban por la mitad de las manzanas correspondientes al Centro de la ciudad, para el riego de las huertas, patios y jardines familiares. El gráfico 1 indica que “los elementos que verdaderamente provocaron extensión urbana bajo los criterios de la Ciudad Liberal fueron: boulevard, ferrocarril, tranvía, mientras que la etapa de la Ciudad Jardín, que en el plano es un dibujo regular, representa un complemento estético que acompaña a los espacios ya construidos” (Espeche, 2017).

### **Etapas de configuración de la ciudad: caracterización urbano-edilicia**

El proceso de expansión urbana de San Fernando del Valle de Catamarca puede



comprenderse en cuatro grandes etapas, cada una con características morfológicas, tecnológicas y paisajísticas particulares:

### **Ciudad Hispánica (1550–1860)**

Esta etapa se caracteriza por el trazado ortogonal en damero, siguiendo las ordenanzas de Felipe II (1573). La ciudad se estructura en torno a una plaza central, con edificios públicos, religiosos y comerciales en sus alrededores. Las construcciones son de adobe, techos a dos aguas de tejas, patios internos y muros gruesos, reflejando un estilo colonial seco, sin vegetación pública, con el verde limitado a patios y huertas privadas.

👉 *Sugerencia de imagen:* plano fundacional o foto antigua del casco histórico con la plaza principal y edificios coloniales.

### **Ciudad Liberal (1860–1920)**

Se produce una expansión hacia el oeste y se incorporan infraestructuras modernas como el ferrocarril, tranvías y bulevares. El modelo urbano se flexibiliza con ejes de conectividad y avenidas arboladas. Aparecen edificios públicos con influencia academicista, materiales como ladrillo cocido y hierro, y espacios públicos como el Paseo La Alameda.

### **Ciudad Jardín (1920–1950)**

Se incorporan elementos estéticos y funcionales del urbanismo moderno: lotes más amplios, retiros de frente, jardines, y mayor presencia del verde urbano. La pavimentación comienza a consolidarse, y se privilegia la ventilación e iluminación natural de las viviendas. Arquitectura con influencias art déco y racionalismo.

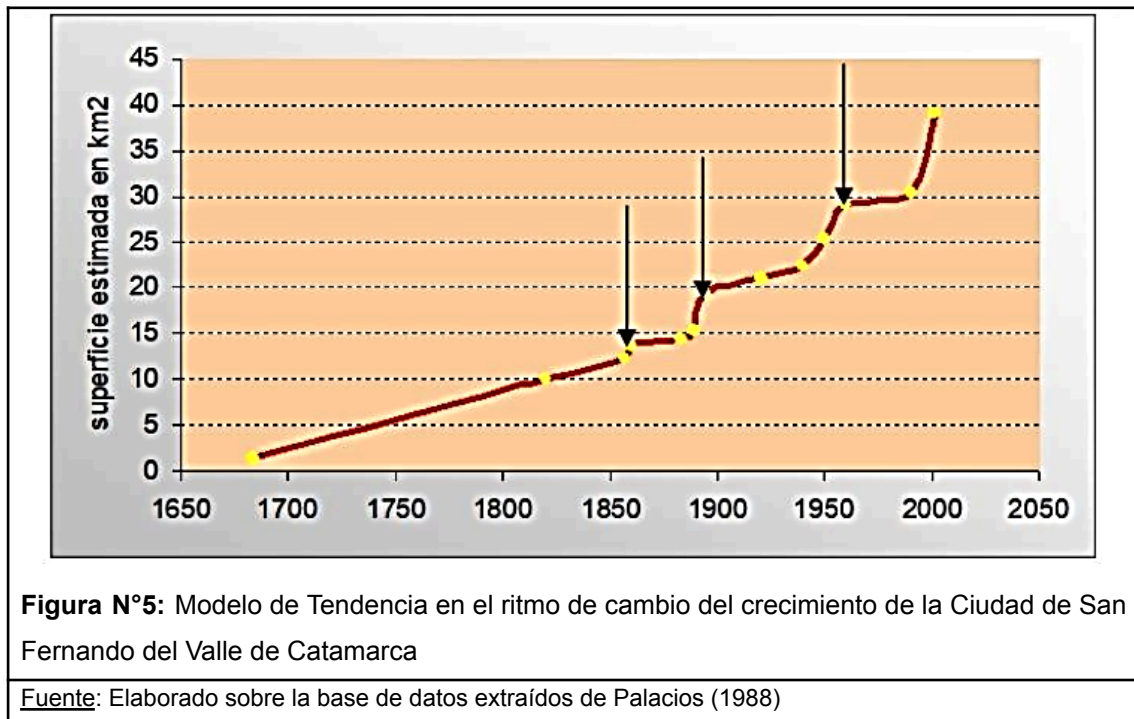
👉 *Sugerencia de imagen:* fotografías de barrios residenciales con veredas arboladas y casas jardín, como en el sector oeste o barrio Villa Cubas.

### **Ciudad Moderna (1950–1980)**

En esta etapa predomina la verticalización incipiente, la zonificación funcional, la expansión masiva de la mancha urbana y la consolidación de redes de servicios. Se imponen materiales industrializados como hormigón armado, asfalto y chapa. Surgen conjuntos habitacionales y barrios populares promovidos por el Estado. Aumenta el

tránsito vehicular y se reduce el espacio verde por el avance de la urbanización intensiva.

👉 *Sugerencia de imagen:* fotografías de edificios en altura, calles pavimentadas y sectores céntricos densamente contruidos.



En el año 2003, se ha implementado el Plan Urbano Ambiental (PUA), que reguló los impulsos que genera la vida urbana y orienta la planificación del municipio. El uso desmedido de automóviles y medios de transporte públicos, han logrado un deterioro acelerado en el paisaje urbano. (Espeche, 2017;61).

### 1.c.II. La Pavimentación del casco céntrico

Las ciudades ya están más calientes que sus alrededores y a medida que el clima se calienta, el efecto de la ICU y sus impactos negativos, serán más pronunciados y dañinos. pero entra en juego consecuentemente, factores locales considerados muy influyentes, por ejemplo, uno de ellos es; el inicio en esta ciudad de procesos de asfaltado desde 1930, de calles principales, ejecutada por el Intendente Alderete Salas (Fig.6).



Dalla Lasta (1982), señala que, en 1929, sólo el centro de la ciudad poseía sus calles empedradas. El centro en un conglomerado pequeño, estaba referido a las calles que rodeaban la plaza principal y algunas de las desembocaban en ella, como, Rivadavia, República, San Martín y Sarmiento. El resto de las calles eran de tierra. En los registros y datos precisos, tanto del Diario Época y Ambato, sobresalen los siguientes:

- El 18 de marzo se le autoriza ausentarse de la Provincia 8 días, para realizar gestiones de interés público, con un proyecto de ordenanza.
- El 30 de agosto de 1930, el intendente Alderete Salas dió a conocer públicamente el Proyecto de

Figura N° 7: Retrato de Intendente



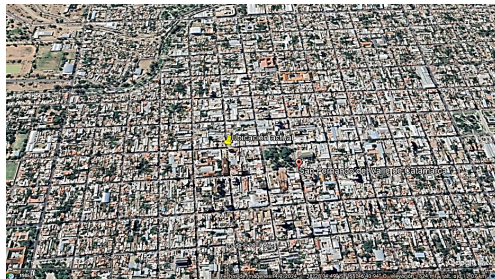
Ernesto Alderete Salas (1892-1972). La caricatura de Luis Varela Lezana muestra al intendente de la Capital asfaltando la ciudad y las cucarachas invadiéndola, como resultado del movimiento de tierra, según lo que aducían los vecinos.

Pavimentación.



**FIGURA Nº 8. COMPARACIONES HISTÓRICAS.** 1) Se observa el proceso de asfaltado. Intersección calles Esquiú y Rivadavia.

**Año 1930.** Fuente: Fan Page Facebook Antigua Catamarca. Alejandro Dalla lasta (2024)



2) **Febrero 2024.** Día muy caluroso.  Imágenes actuales del mismo lugar. Fuente: Google Earth

- El 30 de octubre de 1930, se dictó un decreto aprobando los pliegos de condiciones y especificaciones, de acuerdo a cuyas disposiciones se debían llevar a cabo las obras de pavimentación, autorizadas por las ordenanzas dictadas por el Concejo Deliberante, el 1 y 29 de dicho mes.



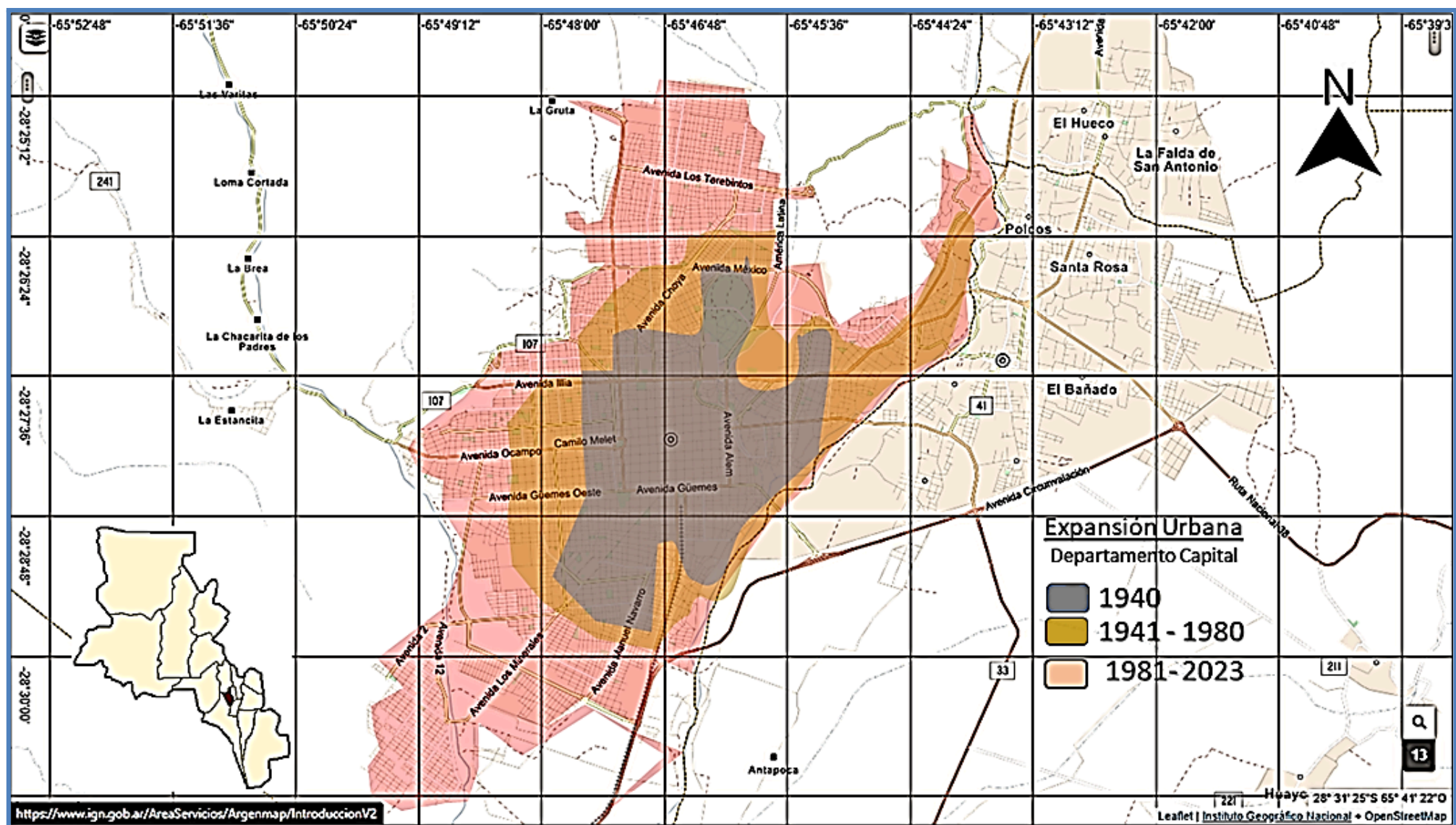


Figura N° 9: Trazados de expansión de la ciudad en diferentes fases. Elaboración propia con mapa base de Instituto Geográfico Nacional (IGN)

#### **1.d La base climática local, física y natural.**

El confort térmico humano está vinculado a atributos multisensoriales y a la cognición psicológica, además de la influencia de parámetros meteorológicos destacados. Para analizar la ICU (Isla de calor) de manera directa e indirecta, es necesario un amplio conocimiento de la base climática local, conteniendo características asociadas no solo al principal elemento de clima, que es la temperatura sino a los que también se adicionan para complementar la clasificación correspondiente.

La Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca en el Valle Central de la Provincia Homónima (Departamento Capital), se encuentra en relación a su altitud, a los 516 msnm, formando parte de la Diagonal Árida Sudamericana, se encuentra agrupada en el dominio árido, sub-dominio de Sierras y Bolsones establecido por Chiozza (1958), Köppen cataloga a este espacio geográfico con las letras BSh (Estepario cálido) tipo Senegalés.

La configuración de la topografía juega un importantísimo papel en la base física y natural del clima. “El relieve determina una alternancia de microclimas húmedos en las laderas orientales de las sierras, en las que nacen torrentes y arroyos que erosionan intensamente sus laderas y van a depositar el material de acarreo en los fondos de los valles”, como menciona Chiozza (1958) y se traduce en cuencas cerradas desprovistas de humedad en la que domina la aridez. Se halla comprendida al sistema correspondiente a Sierras Pampeanas, formada y originada por valles longitudinales con orientación norte-sur, rumbo que incide en la distribución de las lluvias. Una característica de gran parte de estos cordones montañosos es su asimetría morfológica: las laderas occidentales suelen ser de pendientes bastante más abruptas que las laderas orientales, por esta causa las primeras se denominan cuevas y las segundas faldas.

##### **1.d. I. TEMPERATURA**

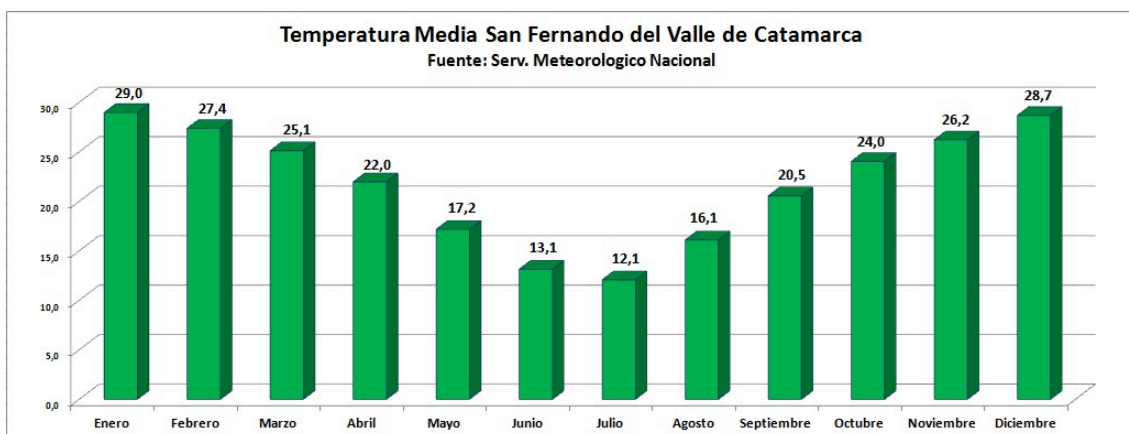
Las máximas temperaturas están experimentando un gradual crecimiento desde 1980, en relación al crecimiento de la mancha urbana. Su mayor manifestación se produce a finales de primavera y en períodos secos durante el verano. Este período se combina entre semanas

de tiempo seco y templado con irrupciones de aire polar por masas de aire transportadas con vientos de componente S, SW mayormente, en menor medida

del sector SE, que es bloqueado por la serranía de El Alto-Ancasti. Estos episodios que recortan los días muy calurosos, dejan condiciones agradables térmicas por 2 o 3 días.

**PERIODO 2000-2023 (Figura 10)**

| Año         | PROM. (°C) | T. max med. (°C) | T. min med. (°C) | T. max abs. (°C) | T. min abs. (°C) |
|-------------|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <u>2000</u> | 20.2       | 26.8             | 13.6             | 39.6             | -5.2             |
| <u>2001</u> | 20.8       | 27.2             | 14.5             | 40.7             | -4.4             |
| <u>2002</u> | 20.8       | 27.3             | 14.4             | 40.6             | -3.4             |
| <u>2003</u> | 21.6       | 28.3             | 14.9             | 43.5             | -2.1             |
| <u>2004</u> | 21.4       | 28.1             | 14.8             | 43.5             | -2.5             |
| <u>2005</u> | 21.1       | 27.7             | 14.5             | 41.5             | -3.8             |
| <u>2006</u> | 22.2       | 29.1             | 15.2             | 44.0             | -1.4             |
| <u>2007</u> | 21.0       | 27.6             | 14.4             | 41.5             | -4.4             |
| <u>2008</u> | 21.4       | 27.9             | 15.0             | 41.5             | -1.6             |
| <u>2009</u> | 22.1       | 28.8             | 15.3             | 47.0             | -6.7             |
| <u>2010</u> | 21.5       | 28.2             | 14.8             | 42.9             | -2.8             |
| <u>2011</u> | 21.2       | 28.0             | 14.4             | 43.0             | -3.6             |
| <u>2012</u> | 22.4       | 29.1             | 15.7             | 43.4             | -4.6             |
| <u>2013</u> | 21.8       | 28.7             | 14.9             | 42.5             | -6.1             |
| <u>2014</u> | 21.7       | 28.2             | 15.2             | 43.5             | -0.1             |
| <u>2015</u> | 21.7       | 28.1             | 15.3             | 40.8             | -1.1             |
| <u>2016</u> | 21.0       | 27.4             | 14.5             | 43.6             | -1.2             |
| <u>2017</u> | 21.7       | 28.3             | 15.0             | 45.2             | -5.3             |
| <u>2018</u> | 21.1       | 28.0             | 14.2             | 41.4             | -5.1             |
| <u>2019</u> | 20.9       | 27.7             | 14.2             | 43.0             | -2.7             |
| <u>2020</u> | 21.8       | 29.0             | 14.6             | 41.0             | -3.4             |
| <u>2021</u> | 21.4       | 28.5             | 14.4             | 42.6             | -6.2             |
| <u>2022</u> | 21.0       | 28.4             | 13.7             | 43.5             | -2.7             |
| <u>2023</u> | 22.7       | 29.7             | 15.7             | 43.8             | -3.6             |
| <u>2024</u> | 30.5       | 36.3             | 24.7             | 43.6             | 13.4             |



**Figura N° 11:** Fuente, Servicio Meteorológico Nacional. Años 2000-2023

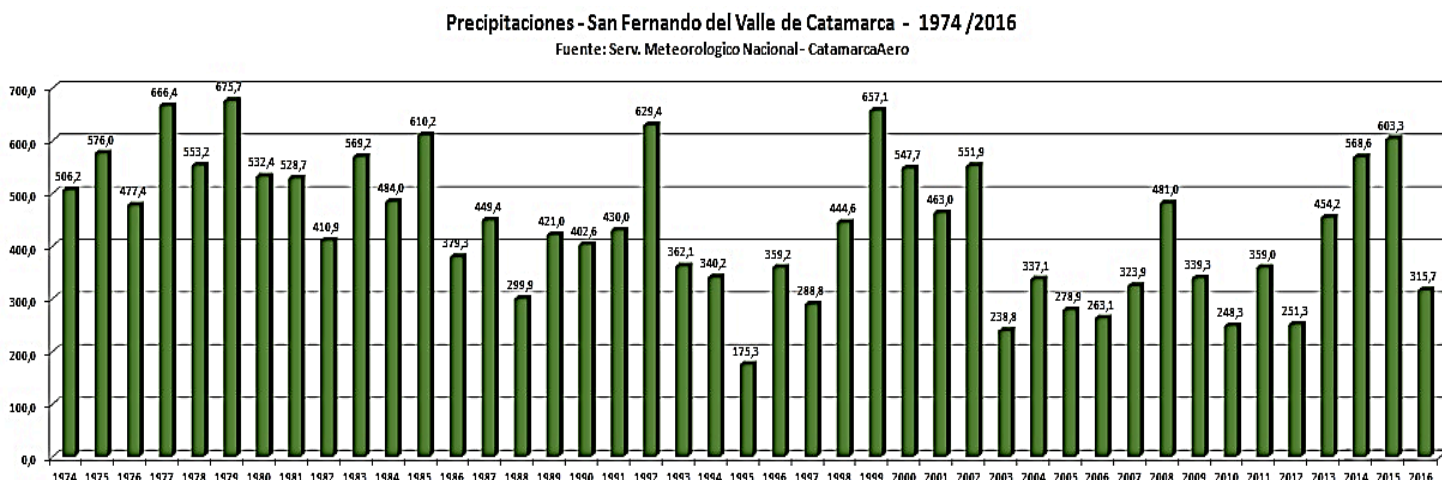
#### 1.d. II. PRECIPITACIONES

La estación de mayores precipitaciones abarca los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril. Período de 4 a 5 meses cuando tienen lugar gran parte de los acumulados pluviométricos. 450 mm de promedio anual para la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca.

**Fuente:** Acumulados de precipitaciones. Elaboración propia en base a datos provistos por Brigada de Incendios Forestales de Catamarca.

En el verano con precipitaciones de régimen torrencial, de corta duración y gran poder erosivo. La evaporación excede a la precipitación media anual (calurosa y seca)

**Figura N° 12: registro de precipitaciones 1974/2016**





|            | PROMEDIOS |         |         |         |
|------------|-----------|---------|---------|---------|
|            | 10 años   | 20 años | 30 años | 43 años |
| Enero      | 80,5      | 78,7    | 77,7    | 92,3    |
| Febrero    | 82,9      | 71,7    | 74,3    | 82,3    |
| Marzo      | 42,5      | 46,5    | 47,8    | 58,5    |
| Abril      | 26,3      | 28,5    | 27,5    | 28,1    |
| Mayo       | 7,5       | 14,6    | 12,6    | 11,5    |
| Junio      | 6,0       | 7,3     | 5,6     | 5,6     |
| Julio      | 5,5       | 5,6     | 6,2     | 6,6     |
| Agosto     | 4,3       | 3,2     | 3,0     | 4,7     |
| Septiembre | 6,3       | 6,0     | 5,9     | 9,1     |
| Octubre    | 20,7      | 26,2    | 24,7    | 26,1    |
| Noviembre  | 39,1      | 44,1    | 46,0    | 45,8    |
| Diciembre  | 67,6      | 70,6    | 67,0    | 69,7    |
| TOTAL      | 389,2     | 403,0   | 398,3   | 441,4   |

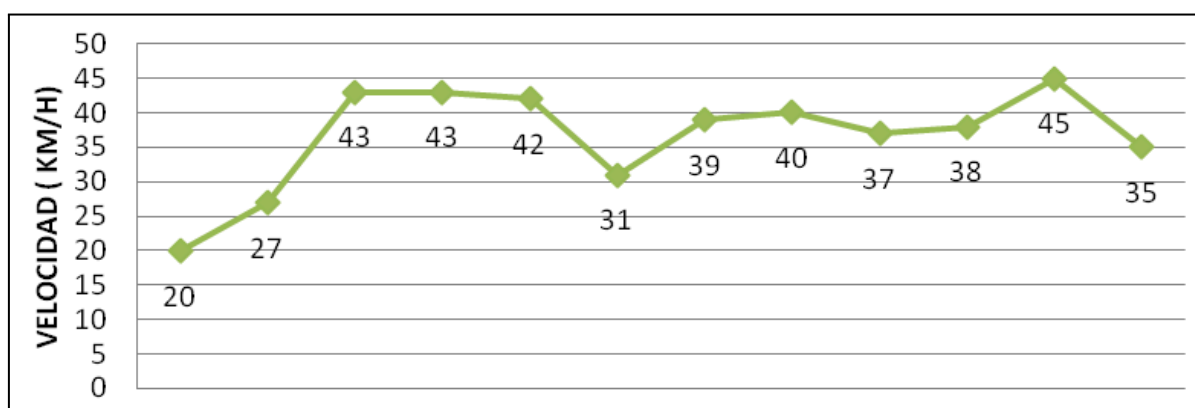
**Figura N°13** Tabla de promedios de precipitaciones. Fuente: Aeropuerto Felipe Varela

#### **1.d.II VIENTO Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA**

A mediados de la estación invernal, comienza el régimen de circulaciones de vientos que van de intensidad moderada a fuerte con componente norte y noreste.

Estos vientos se activan entre los meses de julio y agosto y cobran su máxima intensidad y frecuencia en octubre produciéndose el efecto Venturi del cual las mayores velocidades se dan en espacios más estrechos. Se registran vientos que proceden del sector NE, tienen una ocurrencia inconstante, fluctuante.

Su mayor frecuencia es aproximadamente en los meses de septiembre, octubre y noviembre, cuando se instala un centro de baja presión al sur de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, que recibe circulación del sector NE, para equilibrar la presión fortaleciendo el gradiente atmosférico. En algunas ocasiones se reaparecen en tormentas de polvo y arena, característico de espacios geográficos de aridez.

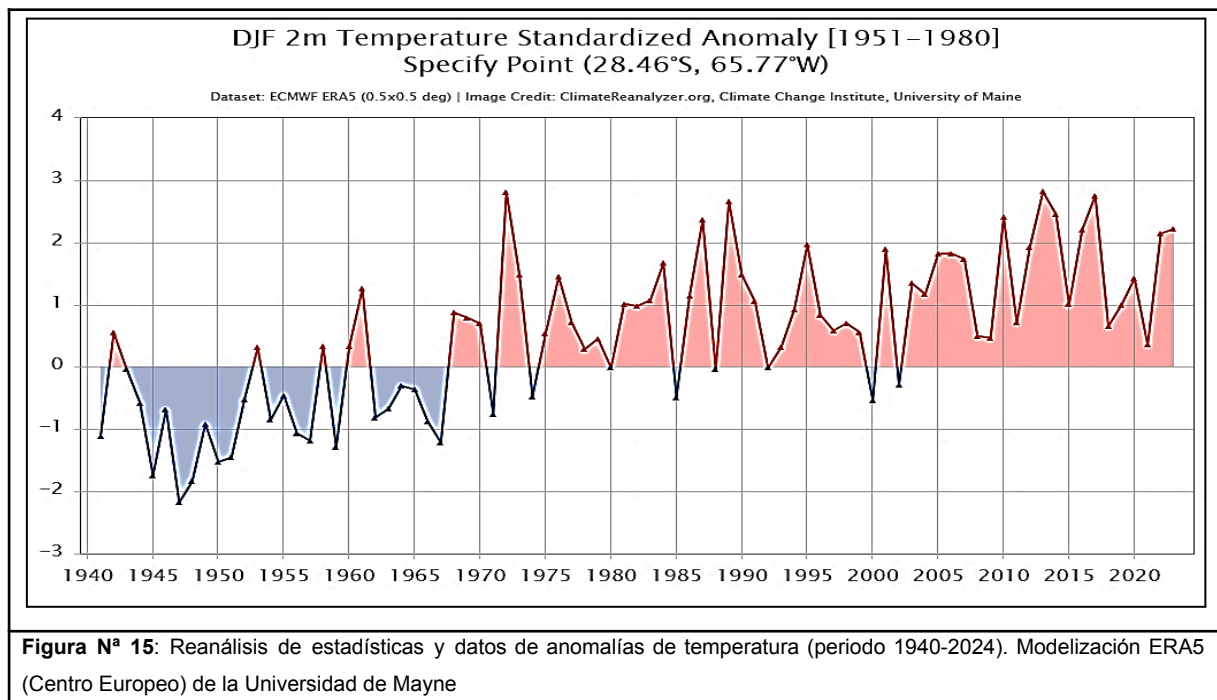


**Figura N° 14** : Fuente: Servicio Meteorológico Urbano. F.C.A. UNCa. 2014

En el caso puntual de esta ciudad, por su morfología urbana, que cuenta con la mayoría de calles y avenidas anchas facilita la circulación del viento dirección NE, el cual está presente la mayoría de los días del año y de forma exclusiva con mayores velocidades en Octubre.

### 1g. Perspectiva de contexto global y regional en variabilidad climática con influencia en las temperaturas urbanas

El Reanálisis climático se refiere a marcos numéricos basados físicamente que simulan el estado del clima de la Tierra a través del tiempo, guiados por entradas frecuentes de observaciones del mundo real (por ejemplo, estaciones meteorológicas, radiosondas, satélites y boyas oceánicas). Los modelos de reanálisis son herramientas incalculables en su posibilidad de comprender la variabilidad y el cambio climático. Con el aporte de la fuente de datos de acceso libre de la herramienta “*climate reanalyzer*”, de la Universidad de Mayne (USA). La misma favorece el filtrado de datos por punto -ubicado en la zona central del área de estudio- con coordenadas geográficas de latitud y longitud.



De esta forma se elaboró la corrida de datos de anomalía de temperatura a 2

metros que hace referencia a como los desvíos en la tendencia de sus promedios resultan sumamente valioso para comprender el crecimiento positivo que viene sucediendo desde 1970. A través del (Figura N° 15), se representa el modelo de comportamiento trimestral (diciembre a Febrero –DEF-), para la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, en un periodo de 80 años, sobrepasando series de clasificación climática. Se recuerda que, para constituir una serie de catalogación o clasificación climática, corresponde realizarlo de acuerdo a la organización meteorológica mundial (OMM), en un mínimo de 30 años.

Puntualmente en el rastreo tanto de anomalías -desvío de valores normales- como ritmo de distribución térmica decadal, se pudo detectar un aumento sostenido de valores promedio, que, a partir del año 1965, sostuvo mencionado crecimiento positivo. Llamativamente no es aislada, y resulta probable asociar con la distribución decadal de las condiciones de marcha de promedios de temperatura, a escala global. En la relación entre el Cambio Climático y ICU (isla de calor urbano) como menciona Sjøvold (2019) “el efecto de la ICU no es causado por el cambio climático ni tampoco contribuye directamente a él, el aumento de las temperaturas mundiales amplificará su intensidad y su duración”. El Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido por el acrónimo en inglés IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) hace hincapié en que el aumento de la frecuencia de los días calurosos y los períodos cálidos exacerban los efectos de la ICU con la tendencia actual de que los fenómenos extremos serán cada vez más frecuentes. Se espera que la ICU aumente con el cambio climático (IPCC, 2018, 554-555).

## **Capítulo 2:**

**El problema. Hipótesis. Objetivos.  
Variables e indicadores**

## **2. a. Problema de investigación:**

La Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, es una ciudad intermedia de la Región Centro Provincial, ubicada en la Diagonal Árida Argentina. Ocupa una superficie aproximada de 399 km cuadrados, parte de su geografía la constituye una extensa depresión tectónica delimitada al oeste por la Sierra de Ambato-Manchao y al este por la Sierra de Ancasti. En este contexto, es donde se evalúa como está afectando a esta ciudad, la problemática el confort climático del Índice de calidad ambiental, que está contemplado en “dimensiones del soporte físico-natural y del hábitat urbano” de las ciudades, según Ramborger (2018). Sino existiese como dimensión de análisis, no se tendría en cuenta a la hora de diagnosticar las características de calidad de vida que dispone la población, en nuestra urbe. “El efecto de la ICU daña el bienestar humano, aumenta el riesgo de enfermedades, reduce la calidad del aire y disminuye la productividad económica” (Peng *et. al.*, 2012).

La relación naturaleza-sociedad existente en este espacio geográfico urbanizado, es afectada por la creciente problemática de isla de calor que perjudica las condiciones de calidad ambiental (disconfort térmico) al aire libre, salud, desarrollo de actividades cotidianas de la población que la habita y visita. “Las situaciones de disconfort ambiental por isla térmica, se aprecian en el momento de realizar movimientos urbanos cotidianos y prácticas turístico-recreativas” (García, 2009).

El área de estudio es el casco urbano principal de la ciudad de la Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca. Los límites específicos son la ruta nacional 38 al Este, los encadenamientos de las Sierras de Fariñango y de la Gruta al Norte, las Sierras de Ambato al Oeste y al sur con el Río Ongolí, límite natural con el Departamento Capayán.

Esta área urbana analizada ha transformado el uso de suelo, la superficie urbana, la densidad poblacional, el tránsito vehicular y las actividades de la población, generando cambios en la climatología urbana, constituyéndose como el medio más artificial de los contruidos por el hombre, en la provincia de Catamarca, identificando las causas que provocan la formación de este fenómeno, por ejemplo con indicadores asociados al reemplazo de

superficies naturales por artificiales, selección de materiales del entorno urbano, aumento de calor antropogénico a través del tránsito vehicular, ausencia de vegetación y alto consumo de sistemas de climatización por las altas temperaturas, se deduce actualmente hacia una caracterización particular de este espacio geográfico de clima semiárido, que potencialmente en la estación estival, se le presenta fortalecido este “efecto”, a los habitantes que padecen la modificación del ambiente que lo rodea.

La indagación y la estimación hacia resultados que podrían ser provechosos, muestran propuestas de mitigación que tienen como principal énfasis estudiar la trayectoria solar y brindar sombras, incrementando vegetación arbórea autóctona y xerófila, desarrollando aprovechamiento de agua pluvial con jardines de lluvia y regadío, en reemplazo de superficies horizontales para aumentar su albedo, incrementando planes de forestación, con modificaciones que se realicen en materia energética, control de calor antropogénico interviniendo la configuración del cañón urbano y medidas de adaptación para mejorar el confort climático del índice de calidad ambiental, en el marco de políticas públicas que contengan un enfoque integral a través de instrumentos de la planificación urbana, reduciendo la vulnerabilidad a los efectos adversos de las altas temperaturas en el espacio público.

## **2. b. Hipótesis**

De forma significativa la urbanización, la disminución de cobertura vegetal, la diferencia térmica marcada en comparación de áreas periféricas fortalece el discomfort climático de calidad ambiental de la población, en los meses de verano y finales de primavera en la Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, con presencia de isla de calor urbana.

## **2. c. Pregunta de Investigación**

¿Cuáles son los factores, procesos y acciones que influyen en el fortalecimiento del discomfort térmico, que condiciona la calidad ambiental de la población de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca?

## **2. d. Estado del arte:**

En los estudios científicos sobre esta temática y a través de los distintos periodos históricos se ha logrado evaluar que las sociedades humanas han influido y alterado los ecosistemas de diferentes maneras. Estas situaciones, donde confluyen procesos del medio físico-biológico provenientes del desarrollo tecnológico para la producción, procesos demográficos y de la organización social, constituyen la estructura de un sistema complejo que funciona como una totalidad organizada que solo puede analizarse desde un abordaje interdisciplinario.

“La definición del Grupo de Investigación sobre Calidad Ambiental Urbana (GICAU-FAAULA), la cual define “calidad ambiental”, como adecuadas aquellas condiciones existentes en un lugar físico urbano, que resulte de apreciables características originales de tales espacios y/o de apropiada intervención humana de los mismos. “Una buena calidad ambiental, produce imágenes, funcionalidades y comportamientos acordes con las dinámicas, preferencias e inquietudes de los usuarios y las capacidades de soporte del mencionado espacio. Todo ello propicias sensaciones de agrado y bienestar de los habitantes y visitantes del espacio en cuestión (Belkis Cartay, 2004, p. 499).

Uno de los efectos más notables del Clima de sectores urbanos, es la diferencia que se observa de las temperaturas entre la ciudad y sus alrededores producto del crecimiento de los promedios de temperatura, a consecuencia del calentamiento global; “la isla térmica como resultado de acumulación de edificios, disminución de vegetación, aumento del tráfico y la generación de calor en el área urbana” (Kratzer, 1994), razón básica de las diferencias térmicas en la alteración del equilibrio del calor, a causa de la sustitución del suelo natural por superficies de concreto, pavimento y/o metal. La ciudad posee una cantidad creciente de fuentes de calor debido a la industria, a los vehículos de combustibles y a la calefacción (En el Caso de San Fernando del Valle de Catamarca, al tener inviernos benignos de relativa suavidad, se atenúa este último factor de influencia).



El proceso de urbanización y la ausencia de vegetación alteran la distribución espacial de la humedad relativa. “La energía que se desprende de los edificios durante la noche ocasiona una fuente artificial de calor que da como resultado la formación de islas de calor” (Ferrelli et al., 2015). Según Oke (1976), el efecto isla de calor de una ciudad (su calor relativo comparado con condiciones pre-urbanas o aproximadas por la diferencia urbana / rural actual) sigue siendo uno de los focos centrales de investigación en estudios sociales y antropológicos. La modificación del clima de una ciudad es producto de la urbanización, lo que da origen a la isla de calor. Existen varias clasificaciones de las islas de calor: la isla de calor superficial y atmosférica. “Los espacios urbanos actúan como modificadores de los climas regionales debido a la sustitución de superficies naturales por espacios construidos (Isla de calor superficial). Con ello se alteran las propiedades físico-químicas y los procesos aerodinámicos, térmicos, hidrológicos y de intercambios de masa que ocurren en la atmósfera, origina el denominado clima urbano (Lombardo, 1997). El Este nuevo tipo de clima de esta ciudad, se origina a partir de la comparación de la “urbe” con su entorno natural o área rural (isla de calor atmosférica), a partir de las diferencias producidas por su funcionalidad y por el contexto de la ciudad, como también las características topográficas y de sitio y de aquellos contrastes producidos por la estructura urbana. La intensidad y características de estas modificaciones suelen ser distintas en función de los elementos que la componen (red vial catamarqueña, tipo y estructura de edificaciones, presencia de arbolado, etc.) Los nuevos materiales tienen propiedades radiativas y conductivas muy diferentes al medio original que aumentan la retención y generación del calor (Grimmond, 2007)

## **2.e. Objetivo General:**

Analizar el confort climático que afecta el índice de calidad ambiental por la presencia de isla de calor en la Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, de acuerdo al tamaño, los aspectos formales y funcionales, en su contexto territorial, a causa de factores antrópicos.

## 2. f. Objetivos específicos

- ❖ Localizar el área de estudio de acuerdo con sus características físicas y su entorno natural.
- ❖ Desarrollar un análisis e interpretación introspectiva relacionada a las principales acciones antrópicas desarrollada en el área de estudio.
- ❖ Analizar los datos meteorológicos estadísticos de los últimos 30 años que prevalecen en el Área de Estudio, verificando la tipología e intensidad de la Isla de Calor y discomfort térmico que caracteriza a la Ciudad Capital de Catamarca.

## 2. g. Variables e indicadores

Del análisis y descomposición de variables e indicadores se desprenden los principales elementos considerados en la delineación de la problemática de calidad ambiental

| Variables        | Indicadores                                                                                                      |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Población        | <ul style="list-style-type: none"><li>- Discomfort térmico</li><li>- Calidad de vida ambiental</li></ul>         |
| Ambiente Natural | <ul style="list-style-type: none"><li>- Temperaturas</li><li>- Vegetación</li></ul>                              |
| Urbanización     | <ul style="list-style-type: none"><li>- Pavimentación y/o asfaltado</li><li>- Construcciones edilicias</li></ul> |

## **Capítulo 3:**

**Isla de calor. Recorrido en la  
conceptualización. Elección y  
relación de la problemática  
ambiental**

### **3.a Recorrido histórico del Concepto de Isla de Calor**

Conociendo la historia de los estudios de islas de calor, uno puede anticipar, planificar y llevar a cabo proyectos impactantes (Stewart, 2019). Desde sus orígenes, a mediados del Siglo XX, se planteó que los procesos asociados a isla de calor, se constituyeron definidos como fenómenos urbanos, con efectos adversos para la población. Las principales ciudades europeas tuvieron las primeras investigaciones de sus ciclos diurnos o nocturnos en 1868 por los climatólogos Renou y Hann (1885). En su estrategia de observación tuvieron en cuenta temperaturas mínimas y máximas de todos los días, en promedios de tres horas. En una primera fase de la evolución del estudio de este fenómeno, Alfred Argot (1896) describió que la magnitud de la isla de Calor alcanzó valores máximos en la noche y mínimos en el día. La secuenciación a escala fina de los primeros conocimientos de la isla de calor, marcaron el inicio de una nueva generación de la evolución temporal. Oke (1982) después de casi noventa años, representó a la isla de calor a nivel pantalla (2 m) de 24 horas, para una gran ciudad de clima templado, durante una condición de verano tranquilo y configuración de cielo despejado, de forma muy similar a sus antecesores tratándose de un fenómeno nocturno, cuya existencia se debe principalmente a la divergencia de las temperaturas urbanos-rurales.

Desde principios de la década de 1970, la configuración y los mecanismos asociados a ICU, ha sido un tema persistente en la literatura sobre teledetección térmica de ciudades. Esto se relaciona principalmente con las temperaturas de las superficies horizontales urbanas y rurales, su relación con el uso y la cobertura del suelo. Los estudios de estos patrones fueron impulsados originalmente por intentos de generalizar los resultados de un número creciente de ciudades observadas y por limitaciones inherentes en el muestreo temporal de superficies urbanas mediante satélites en órbita (por ejemplo, Matson et al.,1978). A finales de los años 1980, la Isla de calor fue observada, detectada y descrita en muchas ciudades norteamericanas y europeas (p. ej., Henry et al.,1989).

Más recientemente, los estudios han encontrado generalizaciones similares a

las reportadas en el período histórico, pero utilizando LCZ (Zonas Climáticas Locales) como concepto de marco (p. ej., Bechtel et al., 2019). Estos estudios muestran que existe una gran variabilidad entre los valores de temperaturas intraurbanas e intrarurales, lo que significa que la magnitud de Isla de Calor, cambia claramente con el tipo de superficie elegido para representar entornos "urbanos" y "rurales".

### **3. b. Conceptualizaciones de Isla de Calor, confort/disconfort térmico y calidad ambiental urbana en el contexto de variabilidad y cambio climático**

“Las ciudades han crecido rápidamente desde la década de 1970, impulsada por la rápida urbanización, gran parte de las tierras de cultivo y los bosques se han urbanizado en los países del este y sudeste de Asia, América Latina y África subsahariana” (Güneralp et al., 2020). El crecimiento urbano sin precedentes en estos países se considera insostenible debido a los problemas ambientales y sociales que surgen. Estos decantan en el análisis de la calidad urbana ambiental, marcando índices bajos en cada una de sus mediciones.

. “Las ciudades son fuente permanente de generación de calor debido a las actividades industriales y comerciales de sus habitantes, a los sistemas de calefacción empleados y al uso de vehículos automotores. Los materiales de construcción [...] conducen más rápidamente el calor que la tierra húmeda o arenosa o la cubierta herbácea superficial. Durante el día los materiales rígidos absorben y almacenan el flujo de calor en tanto que durante las últimas horas de la tarde y por la noche liberan el calor dando lugar así a una fuente adicional de energía que se incorpora a la atmósfera urbana” (Capelli, Piccolo, y Campo, 2005, p.23)

Las áreas urbanas poseen temperaturas más altas que las áreas rurales circundantes debido al entorno construido, como edificios, carreteras y otras infraestructuras que atrapan y retienen más calor que el entorno rural (Zhao et al., 2014 ; Yao et al., 2019 ; Fan et al., 2019). Este fenómeno se conoce como efecto Isla de Calor Urbano (UHI), cuya intensidad se cuantifica por la diferencia de temperatura entre las zonas urbanas y rurales. Con la tendencia creciente de la urbanización, la escala, la funcionalidad y la población de las ciudades están

creciendo, lo que resulta en una escalada gradual de la intensidad del UHI.

Según Wang (2024), “El calentamiento global y el efecto isla de calor urbano han provocado una disminución de la calidad de los espacios abiertos urbanos”. El ambiente térmico exterior de las ciudades se ha ido deteriorando debido al calentamiento global y al efecto isla de calor urbano . Esto ha resultado en una disminución en la calidad espacial de los espacios abiertos urbanos y ha afectado negativamente la salud física de los residentes urbanos (O'Malley et al., 2015). Un número cada vez mayor de personas ha comenzado a reconocer la importancia del ambiente térmico exterior en las ciudades. “Los cambios en el ambiente térmico exterior de las ciudades también han traído otros problemas económicos y sociales, como el consumo excesivo de electricidad y energía, un aumento de las enfermedades relacionadas con el calor y las tasas de mortalidad” (Kim y Brown, 2021). El debate reciente sobre la forma urbana sostenible se ha extendido al ámbito de los estudios del cambio climático. “Algunos de estos estudios se centran en cuantificar los efectos de calentamiento de diferentes formas urbanas en términos de composición del uso del suelo” (Chen, 2024).

El estado en el que los individuos se sienten satisfechos o cómodos con el entorno térmico que los rodea , está asociado al confort o discomfort térmico. Como menciona Ullah (2024) “los impactos entrelazados del cambio climático y la rápida urbanización han alterado significativamente la dinámica térmica de los entornos urbanos, planteando desafíos sustanciales relacionados con el estrés por calor y el confort térmico”. A medida que las temperaturas globales con promedios más altos y en aumento, las áreas urbanas experimentarán estrés o malestar por calor, con influencia ampliada debido a los efectos de la isla de calor urbana, acreditada a aumento de temperatura y climas locales urbanos transformados.

En la isla de calor, las áreas urbanas experimentan temperaturas relativamente más altas que las áreas rurales circundantes, lo que está influenciado por dos factores principales, es decir, las superficies impermeables y el albedo. La proliferación de superficies impermeables, como el asfalto y el hormigón, absorben e irradian calor, creando calentamiento localizado y estrés térmico. “El albedo es una medida de cuánta luz solar refleja una superficie y, por lo tanto, las superficies de bajo albedo o las superficies oscuras, como el asfalto y los techos, absorben más luz solar y se calientan, lo que afecta el nivel general de confort térmico en las

áreas urbanas” (Ullah, 2024, 18 pp). La urbanización también conduce a la pérdida de espacios verdes, reduciendo el efecto refrescante de la vegetación y exacerbando el estrés térmico y el malestar térmico en las zonas urbanas. El malestar térmico humano resultante plantea un desafío multifacético que afecta tanto a los entornos urbanos interiores como exteriores. El aumento del malestar térmico humano también genera impactos adversos en la salud humana, el trabajo, los ecosistemas y la economía en general.

El estudio del confort térmico ha sido abordado mayoritariamente para recintos cerrados como oficinas, escuelas y hogares. Sin embargo, muchas actividades de recreación y de interés comercial, como eventos culturales y turísticos, se desarrollan en espacios abiertos (Ruiz et al 2009). En nuestro análisis, el discomfort térmico se comprende como la percepción de malestar o insatisfacción que experimentan las personas frente a las condiciones de temperatura o aumento de la misma en el entorno de la urbe. Este aspecto es fundamental, ya que, como subrayan Correa et al. (2009), el grado de discomfort que sienten los individuos al exponerse a las condiciones climáticas en espacios urbanos abiertos, repercute directamente en la cantidad e intensidad de sus actividades diarias y, por ende, en la habitabilidad y calidad de vida en la ciudad.

### **3.c. La selección del núcleo problemático de isla de calor como indicador de sostenibilidad**

En el escenario actual de cambio climático, las ciudades son y serán ambientes estratégicos que pondrán a prueba la capacidad de adaptación del hombre frente al aumento sostenido de las temperaturas. Es así como surgen conceptos tales como ciudades inteligentes, ecópolis, ecología urbana, arquitectura sostenible y otras definiciones que están ampliamente difundidos y aceptados por la comunidad científica, planteando una serie de indicadores de sostenibilidad ambiental.

### **3.d Modelo de una circulación atmosférica influyente para ICU.**

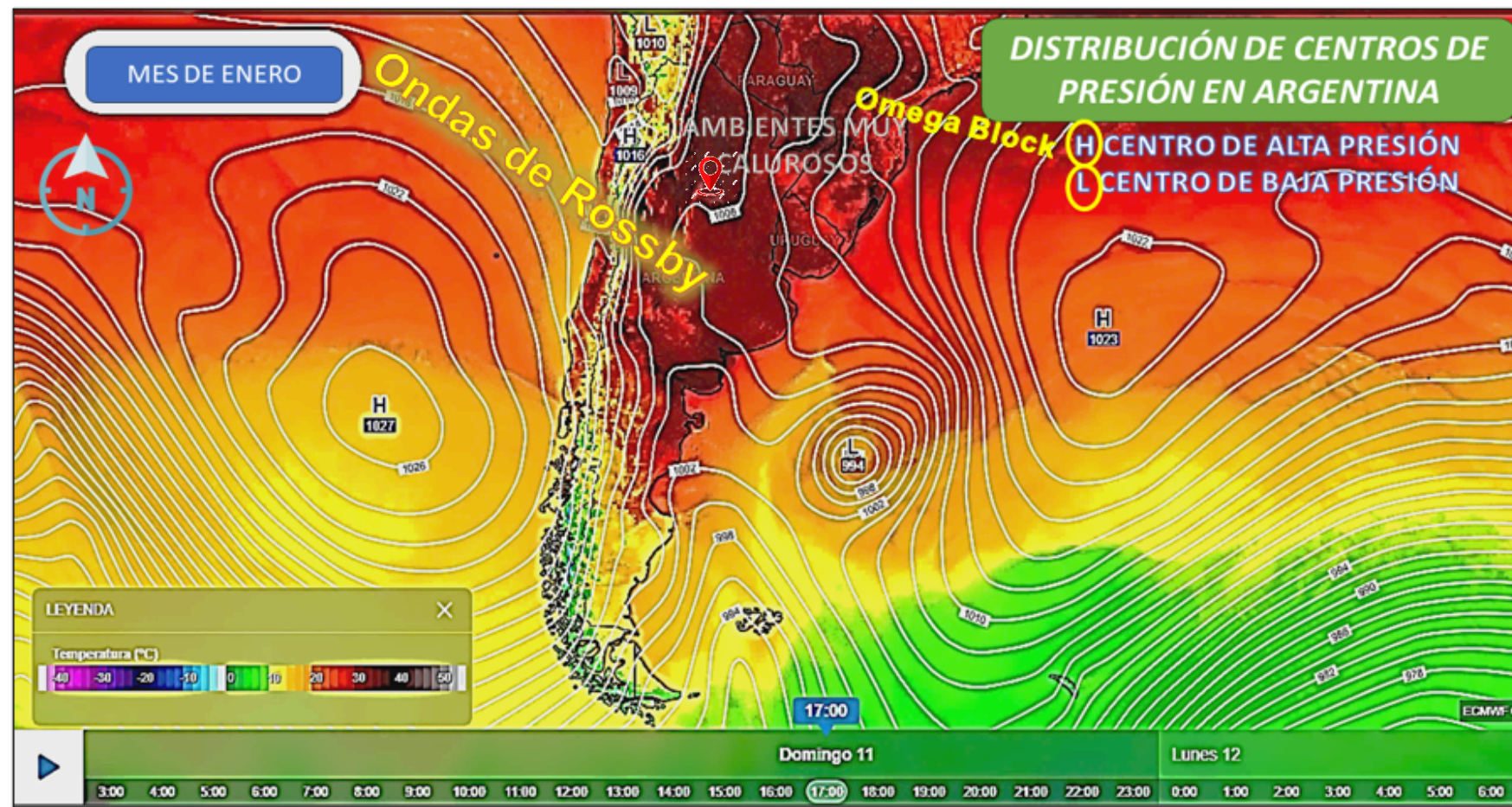
La circulación atmosférica es el movimiento o circulación del aire atmosférico a gran escala y el medio por el que la energía se distribuye generadas a través del balance térmico terrestre. Para este estudio se asumió que no hay intercambio de masa de aire horizontal que influya en el efecto ambiental consecuente, por lo que

la isla de calor, forma un patrón espacial – geográfico en formato nuclear típico. Pero esta suposición sólo es válida para condiciones de cielo despejado, con aire en calma y ausencia de formación de nubes.

Durante la primavera y el verano en Sudamérica, generalmente hay sistemas de alta presión, y como se observa en los esquemas presentados es sumamente proclive la formación de una ola de calor que se asocia y suele depender del cambio de latitud del anticiclón del atlántico (AA) (Figuras 18 y 19) “la advección de aire caliente desde latitudes más bajas provoca el descenso de aire seco y cálido bajo cielos despejados. Los cielos despejados permiten el calentamiento radiativo de las superficies subyacentes, que intercambia calor adiabáticamente con el aire.

Los anticiclones (A/H) de superficie conectados a la cresta de una onda de Rossby de la troposfera superior son los impulsores dinámicos de las olas de calor del verano en latitudes medias. El ciclo de calentamiento normal se estanca cuando los anticiclones de movimiento lento permanecen durante mucho tiempo y extienden el ciclo de calentamiento (por ejemplo, fenómeno Omega Block)” (Gangwisch, 2024). Se asumió que se desarrolla un patrón espacial de Isla de calor, debido al viento en calma (situación típica de eventos de calor en primavera y verano).





**Figuras Nº 18:** EPISODIOS TÍPICOS DE VERANO Y PRIMAVERA. Situación sinóptica de isotermas y centros de presión atmosférica del día 11 de febrero de 2024 y 23 de noviembre de 2023, con presencia de temperaturas muy elevadas. Fuente: Elaboración propia en base a datos de Meteored y Ventusky.

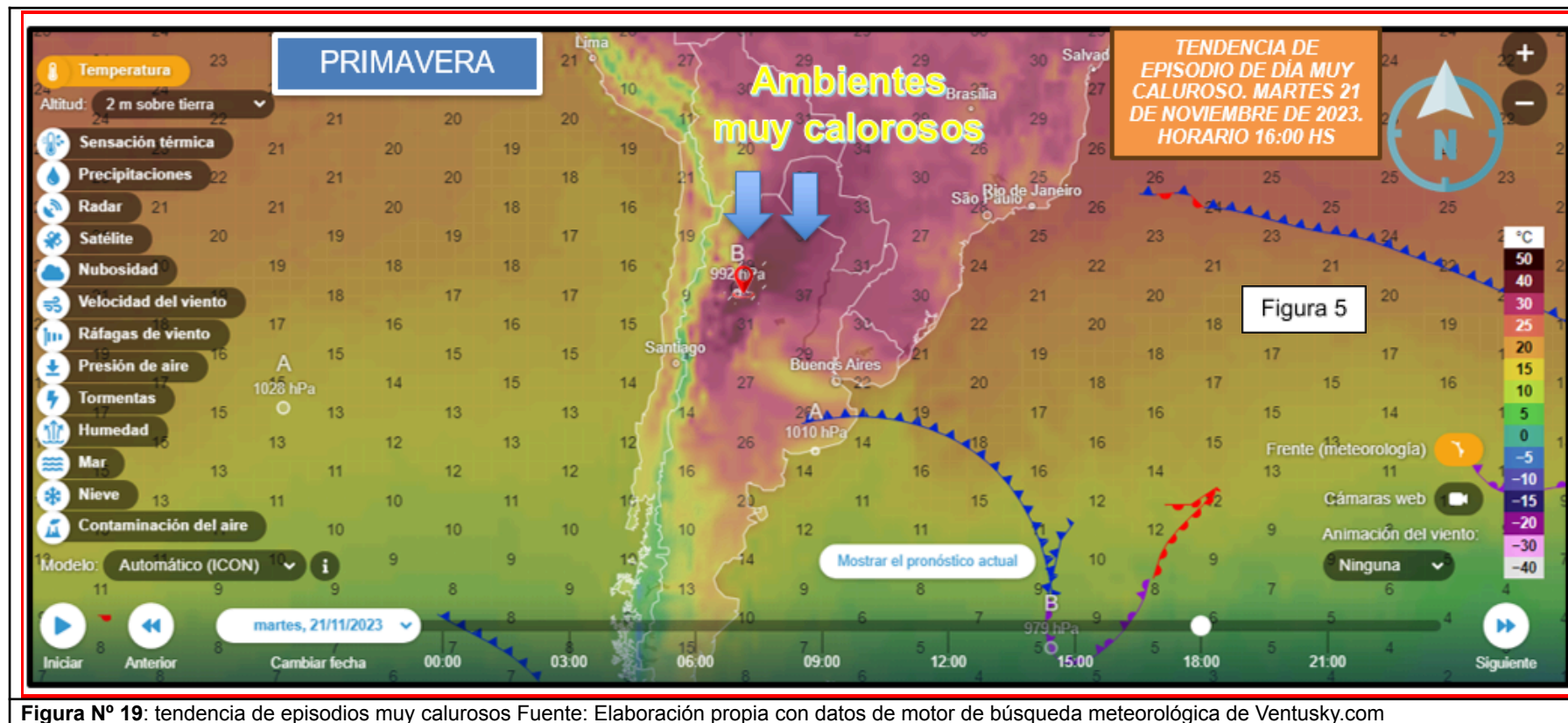


Figura N° 19: tendencia de episodios muy calurosos Fuente: Elaboración propia con datos de motor de búsqueda meteorológica de Ventusky.com

La Intensificación de influencia de Centros de alta presión continentales en la dinámica de circulación general del aire en superficie, que por gradiente de presión originan el transporte de masas de aire con temperaturas elevadas, dirigiéndose a zonas de baja presión para equilibrar las presiones atmosféricas. En la latitud en que se encuentra la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, las condiciones de ambientes calurosos se exacerban en la estación primaveral y estival.

## **Capítulo 4:**

### **Metodología de la Investigación. Resultados.**



#### 4. a. 1. Mediciones realizadas en muestreo

Las mediciones realizadas en el muestreo (Ver anexo 1.a), tuvieron la duración de más de 6 meses, en las fechas comprendidas entre el 15 de septiembre de 2023 al 21 de marzo de 2024, en puntos estratégicos de la ciudad de acuerdo al siguiente mapa:

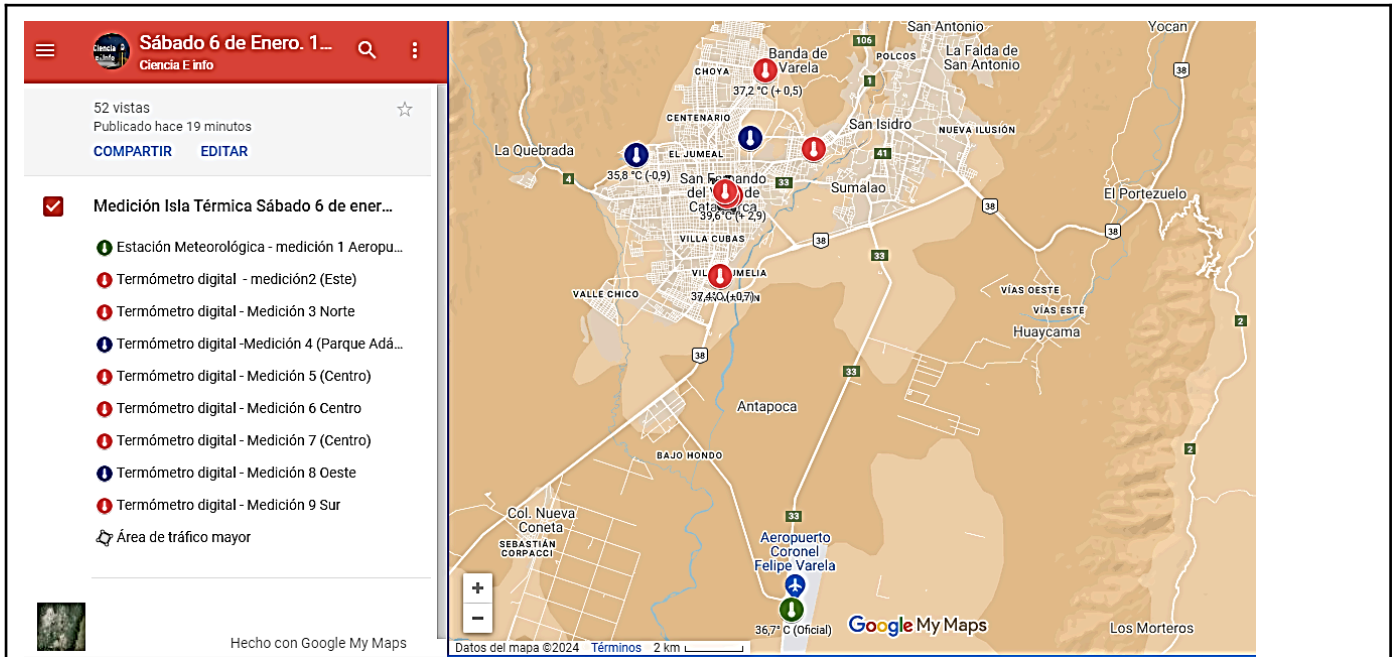
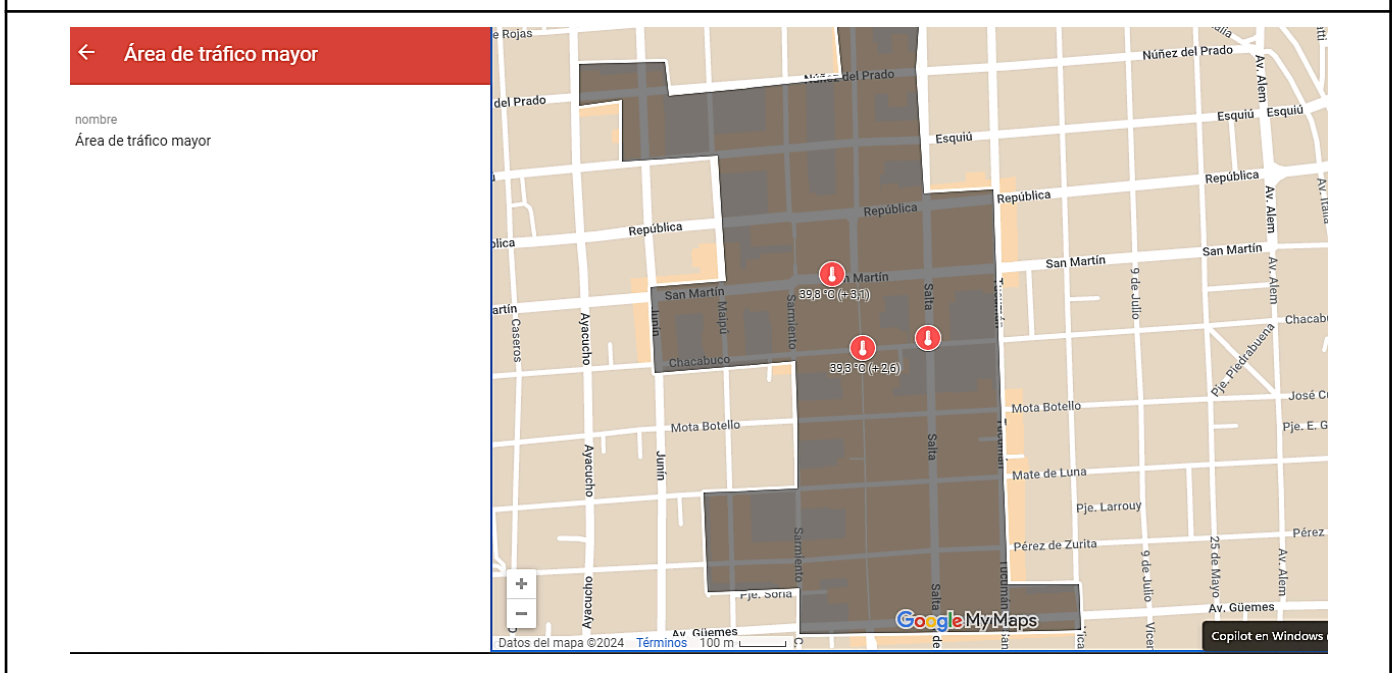


Figura N° 20: Ubicación de dispositivos de medición. Elaboración con Google My Maps.



#### 4. a. 2. Materiales y metodología

Las mediciones se realizaron a 2 metros de altitud, con termómetros digitales incluidos de sonda ambiental (parámetro de medición = -50°C a 110°C). El Termómetro atmosférico exterior digital de marca Luft con sensor (origen: industria alemana), posee una sonda con punta en su extremidad, de acero inoxidable resistente al agua. Esta sonda para medir consta de termoresistencia con presencia de sensor termistor NTC. “Un termistor NTC es un sensor de temperatura por resistencia, que incrementa su valor resistivo a medida que disminuye su temperatura. La forma de la curva característica de esta resistencia puede verse en la **figura 21 curva D**. Se observa que el valor de esta varía de forma negativa con un aumento de temperatura. Los puntos rojos corresponden a los valores reales (medidos empíricamente) de un termistor NTC de valor nominal 150Ω a 25 °C” (Lázaro F., 2024). Se puede calcular la ecuación que rige la resistencia del termistor NTC en la sonda térmica, siendo la siguiente:

$$R_T = A \cdot e^{\frac{B}{T}}$$

siendo:

$R_T$  = el valor de la resistencia a la temperatura  $T$  (en kelvin. 0 °C = 273,15 K).

$A$  = una constante que depende del termistor NTC, y representa el valor de la resistencia del termistor NTC cuando la temperatura es supuestamente infinita.

$B$  = es la resistencia característica del material de que está hecho el termistor NTC. Su valor está comprendido entre 2000 K y 4000 K.

Como menciona Newman (2006) “El termistor fue inventado en 1930 por el

americano Samuel Ruben, y obtuvo la patente de EE.UU nº2021491. Los termistores son resistores variables con la temperatura basados en semiconductores. El término termistor proviene de "Thermally Sensitive Resistor". Existen dos tipos de termistores, dependiendo de si su coeficiente de temperatura es negativo o positivo. Si es negativo se denominan NTC ( las cuales se fabrican a base de mezclar y sinterizar óxidos dopados de metales como el níquel, cobalto, manganeso, hierro y cobre), y si es positivo se denominan PTC (basadas en titanato de bario al que se añade titanato de plomo o de circonio para determinar la temperatura de conmutación) . El mecanismo de un termistor se basa en la variación de la resistencia de un semiconductor con la temperatura, debido a la variación de la concentración de portadores. Para los termistores NTC, al aumentar la temperatura, aumentará también la concentración de portadores, por lo que la resistencia será menor, de ahí que el coeficiente sea negativo.

**Sensores y Calibración:** Respecto a la resistencia del termistor y su calibración (Figura 21), utilizamos la ecuación de Steinhart-Hart, que relaciona la resistencia del termistor con la temperatura:  $1/T = A + B \ln(R) + C(\ln(R))^3$ . Los coeficientes  $A=1.1292e-3$ ,  $B=2.3410e-4$  y  $C=8.7754e-8$  se derivaron de un proceso de validación con un RMSE de  $0.41^{\circ}\text{C}$ , asegurando la fiabilidad de nuestras mediciones de temperatura."

#### 4. b. Interpretación Geográfica del Mapa Térmico de la Ciudad de San Fernando Del Valle De Catamarca e importantes consideraciones

Tomando el modelo de (Capelli, 2006), la distribución térmica diurna en la ciudad para día típico de verano presentó en el microcentro comercial temperaturas de  $45^{\circ}\text{C}$  (25 de enero de 2024 – **Anexo 1 Muestreo de datos**) coincidiendo con zona de escaso arbolado. Los sectores periféricos Este y

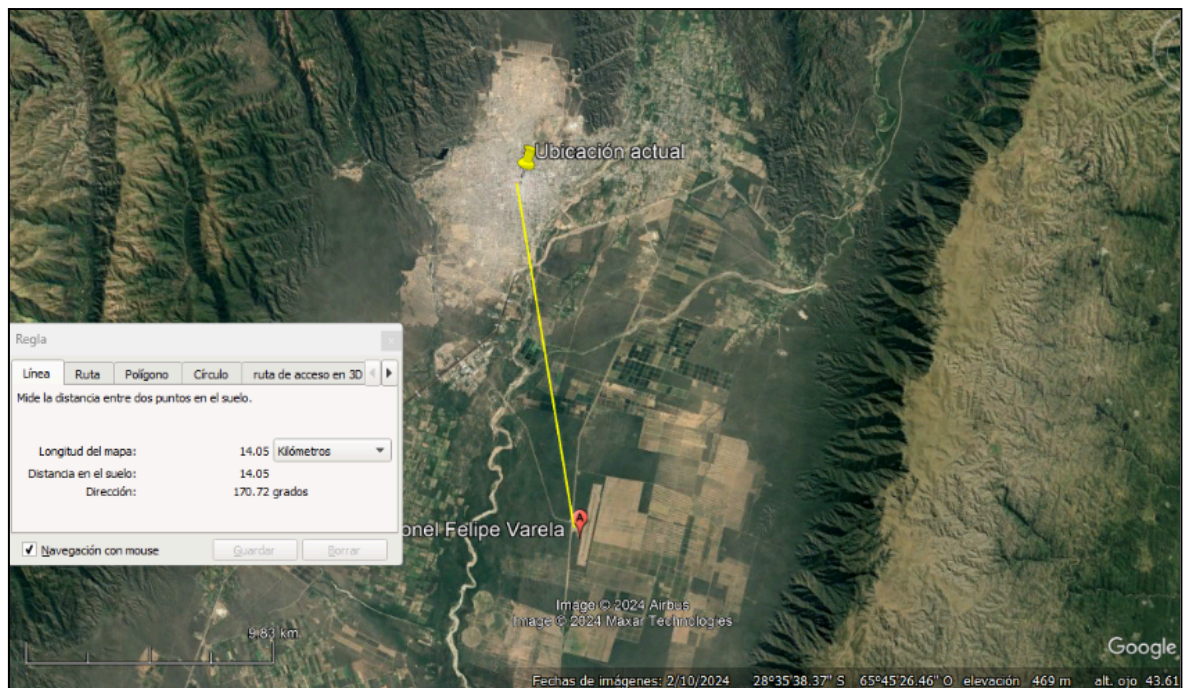
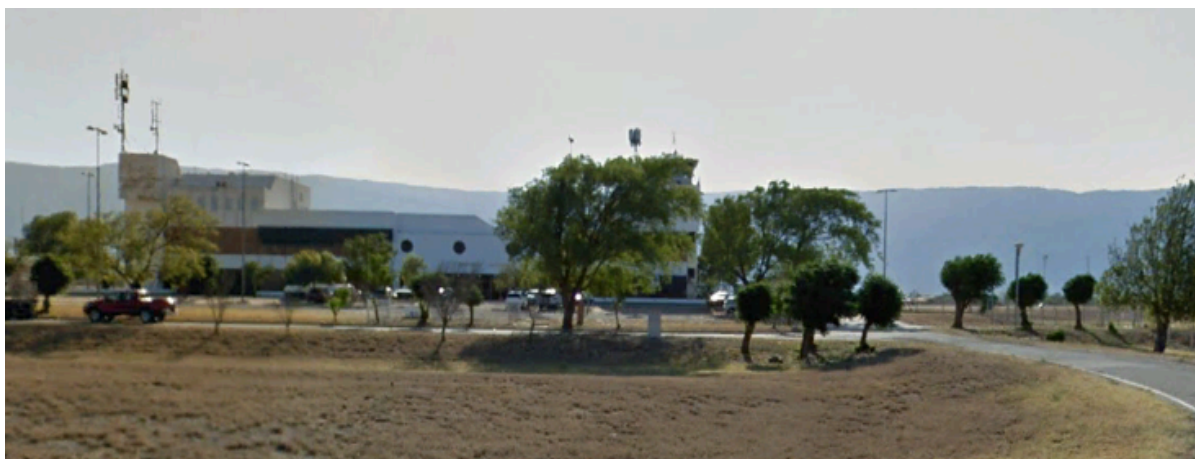


Figura N° 22: Imagen Satelital de Aeropuerto Felipe Varela. Medición de temperatura oficial. Fuente: Google Earth 2024



sudestes cercanos al río del Valle, presentaron temperaturas menores ( $44^{\circ}\text{C}$ ) que el microcentro y mayores a las del Aeropuerto Felipe Varela distante en



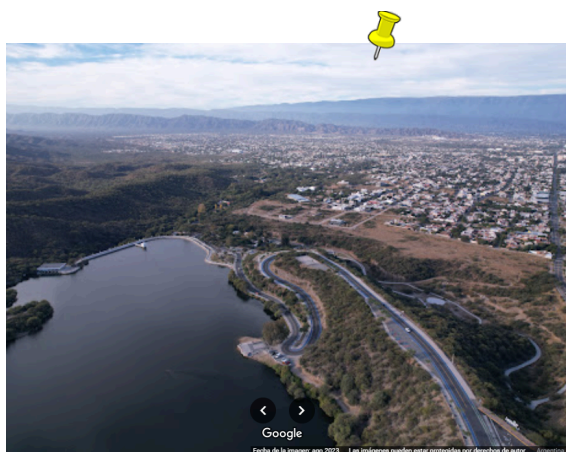
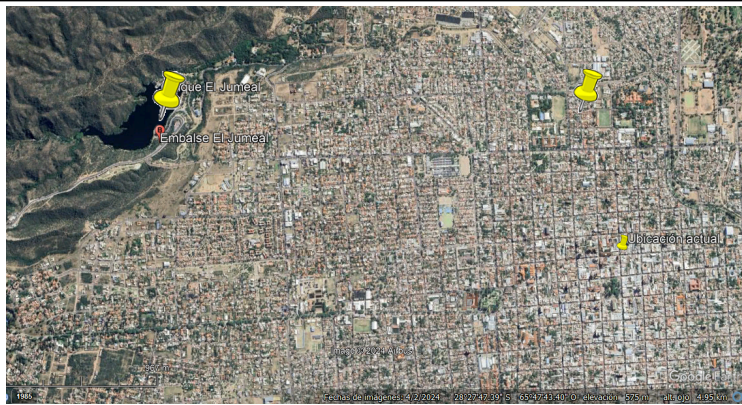
zona rural a 14 km (TMax. 43,2° C).

La distribución diurna mostró que la ciudad es más cálida que su periferia. Hacia el Sur y Suroeste de la ciudad se observaron las temperaturas más bajas. Durante la noche la ciudad estuvo más cálida que los ambientes rurales adyacentes. A este fenómeno se le conoce como intensidad de la isla de calor.

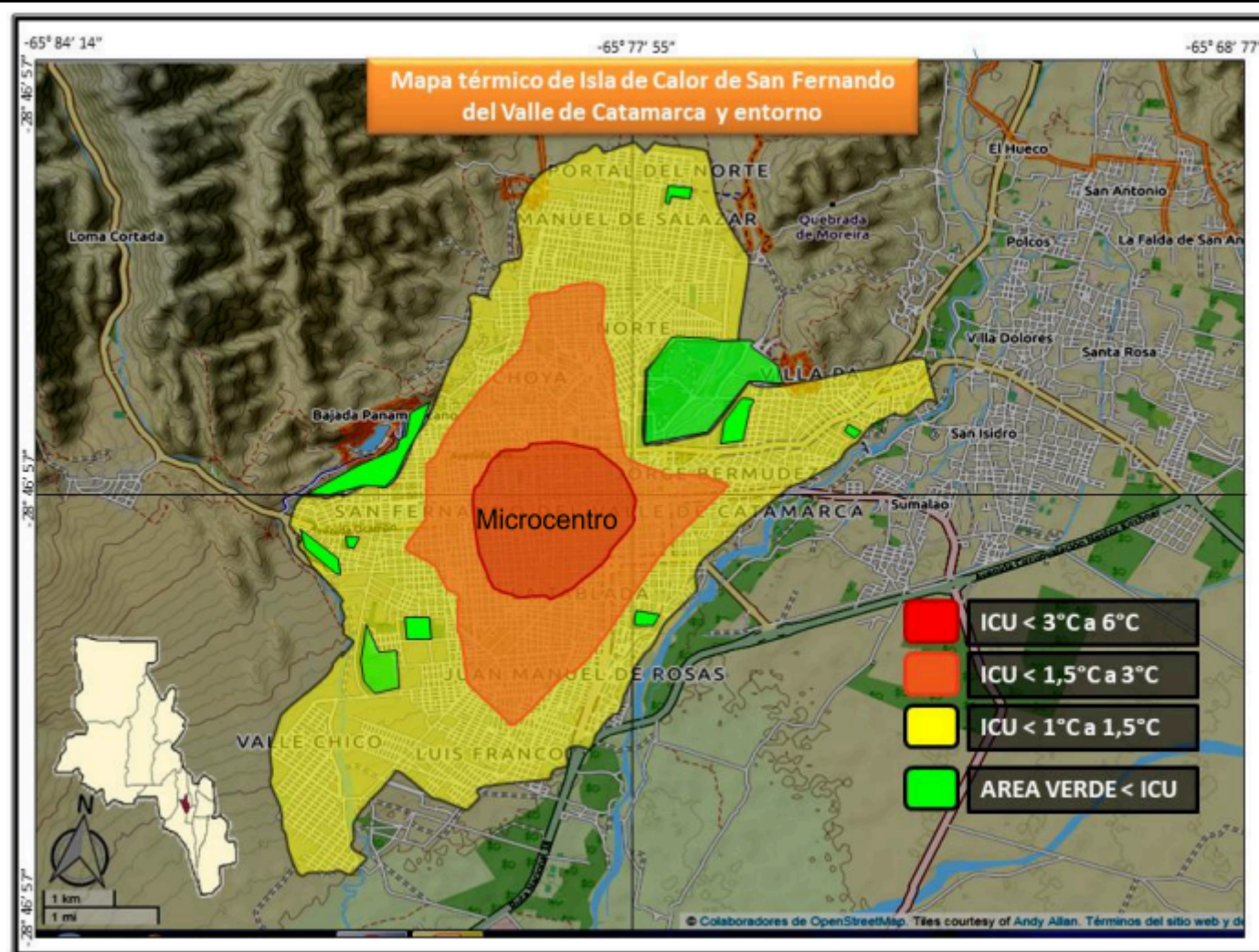
Al observar el mapa térmico N°2 de la página posterior, hay áreas con ICU (isla de calor urbano) con valores negativos (color verde): ellos son el **Parque Adán Quiroga**, el **Circuito de la Vida** y el **Dique el Jumeal**, que se pueden observar en siguientes imágenes, con el detalle de captar mayor presencia de vegetación o cuerpos de agua que influyen en equilibrar el calor.







**Figura N° 23:** Imágenes actuales del **Parque Adán Quiroga** y del **Dique El Jumeal**. (Fuente: Google Earth 2024)



**Figura N ° 24:** Fuente: Elaboración propia en base a registros de datos de SMN, Servicio Meteorológico urbano. Fac. Agrarias. Observatorio Clima FH-UNCa. Medición con sonda térmica en transectas de isotermas.

#### **4. c. Resultados de Encuesta**

Análisis estadístico de la percepción social: justificación y resultados

Con el objetivo de fortalecer la validez metodológica del estudio y evaluar posibles asociaciones entre variables socioterritoriales, se aplicó un análisis estadístico no paramétrico utilizando el test Chi-cuadrado de independencia. Esta técnica permite determinar si existe una relación significativa entre dos variables categóricas en una muestra determinada.

La encuesta autoadministrada alcanzó un total de 240 respuestas, número adecuado para estudios exploratorios en ciudades intermedias como San Fernando del Valle de Catamarca (aprox. 160.000 habitantes), con un margen de error del 6.3% y un nivel de confianza del 95%.

Se evaluaron los siguientes cruces:

**Percepción de diferencias térmicas en la ciudad vs. Percepción de perjuicio a la calidad de vida.**

**Percepción de diferencias térmicas vs. Causas atribuidas al fenómeno de isla de calor.**

**Percepción térmica vs. Estrategias adoptadas frente a las altas temperaturas.**

En los tres casos, los resultados del test Chi-cuadrado no evidenciaron asociaciones estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, este resultado es relevante desde el punto de vista metodológico y territorial: refleja que, si bien existe una percepción generalizada del discomfort térmico en el centro urbano, esta no se asocia linealmente con el conocimiento de las causas ni con las acciones concretas que adopta la población.

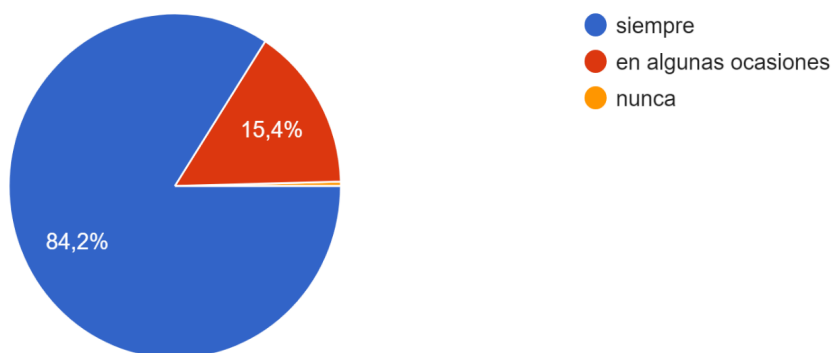
Este hallazgo es consistente con investigaciones previas que señalan la desconexión entre la vivencia cotidiana del fenómeno térmico y la capacidad social para interpretarlo y actuar en consecuencia. Así, se refuerza la necesidad de políticas públicas que integren el conocimiento técnico con la percepción ciudadana, mediante instrumentos de educación ambiental, planificación climática y diseño urbano resiliente.

En síntesis, el uso del test Chi-cuadrado consolida la rigurosidad metodológica del presente trabajo, incluso ante la ausencia de relaciones estadísticamente significativas, y sustenta la validez del enfoque mixto exploratorio en el análisis del discomfort térmico urbano.

**Muestra y Representatividad:** "Nuestra muestra de 240 encuestados se diseñó para ofrecer un 95% de confianza con un margen de error del 6.3%. La distribución por barrios fue proporcional a la densidad poblacional del censo, y la modalidad mixta (60% online, 40% presencial) permitió alcanzar una diversidad demográfica. Aunque el test Chi-cuadrado no mostró asociaciones significativas entre percepción y variables sociodemográficas ( $p=0.07$ ), la alta consistencia de las respuestas (93% percibe discomfort) valida la homogeneidad del fenómeno."

### Pregunta de Encuesta N°1: clima urbano

1) ¿Percibe diferencias de temperaturas más altas en partes más céntricas de la ciudad Fernando del Valle de Catamarca, comparando con los alrededores y zonas rurales adyacentes?  
240 respuestas

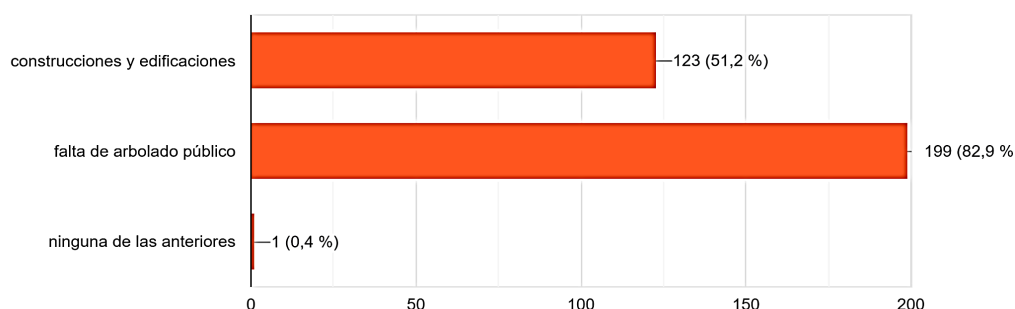


**Gráfico de resultado de encuesta N°1 : Diferencias de temperaturas.** Fuente: Elaboración propia en base a encuesta.

El resultado de esta primera consulta admite tajantemente el criterio urbano micro (local) climático de las temperaturas en la ciudad, y como la población compara o denota diferencias con zonas rurales. Notablemente la gente consultada admite y advierte en un porcentaje bastante alto la incomodidad que resulta el tránsito por veredas o calles del microcentro catamarqueño, generalmente cuando concurren a realizar compras, ya que se encuentran la mayoría de los comercios en su equipamiento urbano.

### Pregunta de Encuesta N°2: causas del clima urbano

2) ¿Qué causas cree que puede intensificar las islas de calor en la ciudad?  
240 respuestas



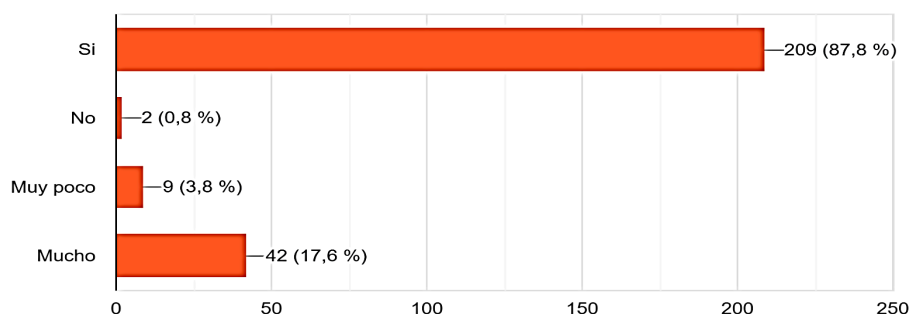
**Gráfico de resultado de encuesta N°2:** Causas del clima urbano. Fuente: Elaboración propia en base a encuesta.

Si bien la población consultada no divide o no distingue claramente si la opción presentada en primer lugar está por sobre la de segundo orden, lo que claramente se visualiza en la concientización de los motivos referidos a esta problemática, la inclinación hacia la comprensión de la importancia de la vegetación como factor para atenuar los ambientes calurosos que se les presenta tanto en finales de primavera como en verano.

### **Pregunta de Encuesta N°3: perjuicios del clima urbano**

3)¿Las altas temperaturas de la ciudad cree que ocasionan un perjuicio a la calidad de vida y confort?

238 respuestas



**Gráfico de resultado de encuesta N° 3.** Fuente: Elaboración propia en base a encuesta.

El concepto de confort admite diferentes definiciones; desde una perspectiva “psicológica” según Hoppe (2002) “el confort térmico humano se puede definir como la condición mental en la cual existe satisfacción con el ambiente térmico, la persona no prefiere estar ni en un entorno más cálido ni en uno más fresco (Extremos de temperatura); los aspectos psicológicos son de significativo impacto en los espacios exteriores”. Ante esto es clara la tendencia casi de forma unánime (+93%), en que el calor en la ciudad, está asociado a mala calidad de vida o se ven perjudicadas en su padecimiento.



#### Pregunta de Encuesta N°4: alternativas a las temperaturas elevadas

4) En verano cuando las temperaturas son muy altas en la ciudad, ¿qué alternativas elige para soportar el calor?

240 respuestas

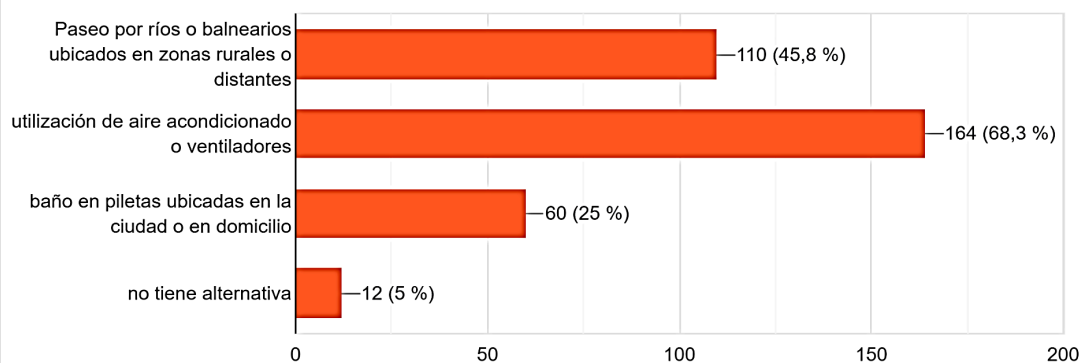
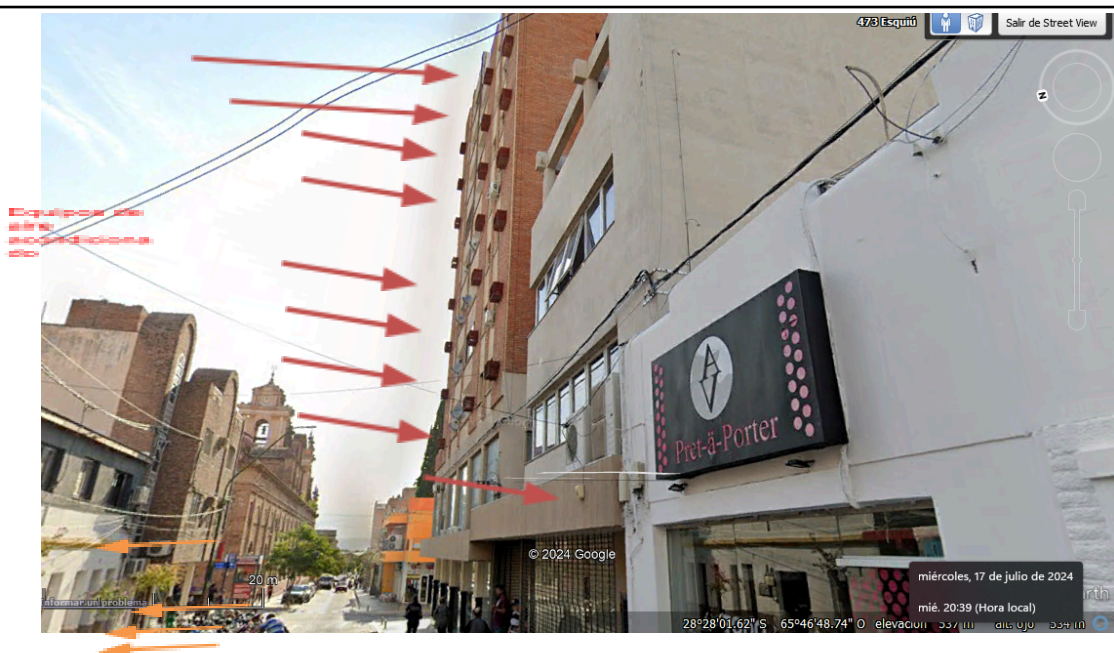


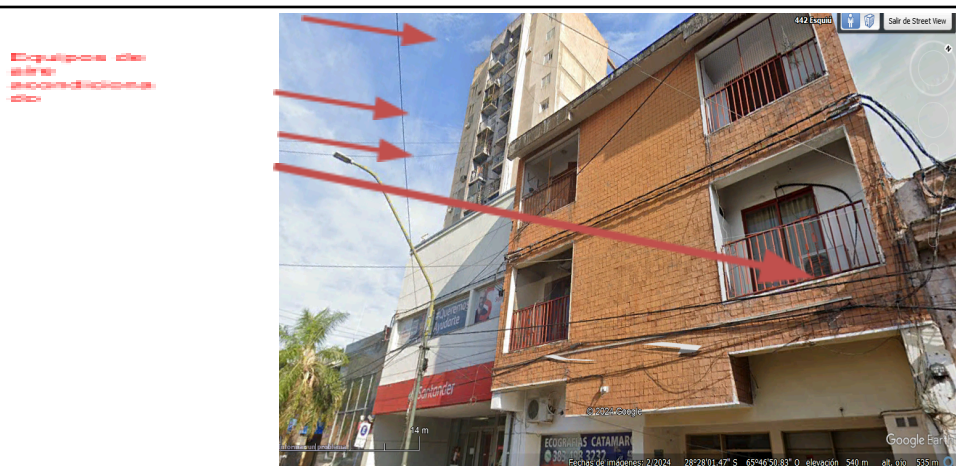
Gráfico de resultado de encuesta N°4 : Diferencias de temperaturas. Fuente: Elaboración propia en base a encuesta.

Una problemática creciente de las últimas décadas, en base a los testimonios de los habitantes de la ciudad y la encuesta realizada que, ante una gran cantidad de horas en primavera y verano de exposición al calor y el complemento urbano que exacerba esta condición ambiental, eligen distintas alternativas. Es alto el porcentaje de los encuestados (68,3 % - Gráfico R.E. N° 3) que utiliza un elemento que debe considerarse también en la microclimatología urbana de este espacio geográfico, y es la utilización de equipos de aire acondicionado en ambientes interiores. Algunos de los principales problemas es el consumo de energía, ya que el aire acondicionado consume mucha electricidad. Esto tiene un impacto negativo en el medio ambiente, ya que la generación de energía eléctrica suele estar asociada a la emisión de gases de efecto invernadero; y el segundo factor es que el aire devuelto por los equipos tecnológicos es más cálido que el ambiental, enfriando los espacios interiores, pero contribuyendo calor a los exteriores. Una suma importante de equipos que se utilizan simultáneamente fortalece en el aumento de la temperatura a los ambientes urbanos (Figura N°25).





**Figura Nº 25:** Arteria de la ciudad (Esquíu 473) con presencia de edificios con importante cantidad de equipos de aire acondicionado. Fuente: Google Strew View. Julio 2024



**Imagen 19:** Arteria de la ciudad (Esquíu 412) con presencia de edificios con importante cantidad de equipos de aire acondicionado. Fuente: Google Strew View. Julio 2024

5) ¿Conoce o considera si se realizan gestiones políticas o no, relacionadas con esta problemática de mejoramiento de las condiciones de vida y confort en la ciudad de San F. de V. de Catamarca? ¿Qué opinión le merece? Describa una breve opinión:

201 respuestas

Más campos verdes y el tema de la basura

Si ,pero no se tiene en cuenta en las obras de infraestructura el impacto que tienen sobre el ambiente.

No conozco de ninguna gestión reciente .

No se realizan gestiones. No les interesa.

Como lo dije en reiteradas oportunidades, falta ÁRBOLES en nuestra ciudad capital. Eso mitigaría el calor.

No conozco las gestiones

Existe cero políticas públicas destinadas al medio ambiente.

Vi q en muchos lados sacan los árboles y no colocan nada

No!.., creo que falta y demasiado este tipo de políticas y sobre todo falta de concientización a la población

**Resultado de encuesta N°5 :** Fuente: Elaboración propia en base a encuesta.

Las opiniones u observaciones de los encuestados respecto de políticas acordes en base a esta problemática, fehacientemente suponen y denotan una falta importante u omisión percibida hacia diferentes rangos de áreas de gestión política pública, funcionarios o gobernantes a la hora de inexistencia de planes de acción eficientes, referidas a esta situación.

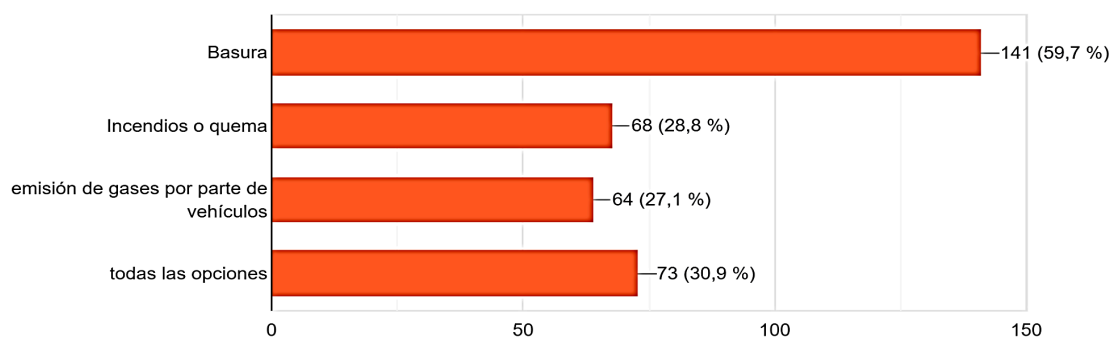
Climatólogos, arquitectos y urbanistas insisten en que reverdecer las ciudades debe ser un objetivo prioritario de cualquier planificación urbana de cualquiera de las gestiones política o jerarquía en las misma existente, tanto municipal, departamental y/o provincial. No sólo aumentar los parques y el arbolado de las calles, la vegetación debe llegar a los propios techos o terrazas (como

plantearemos en los capítulos posteriores, en la alternativa de la “ecópolis sustentable”.

#### Pregunta de Encuesta N°6: acción contaminación

6) Cerca de su barrio o domicilio: ¿Qué acción contaminante o de daño medioambiental, cree que es más frecuente? puede elegir varias

236 respuestas



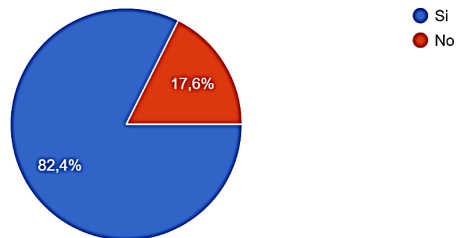
**Gráfico de resultado de encuesta N°6 :** Fuente: Elaboración propia en base a encuesta.

Según Romero Aravena (2021) “El otorgamiento de una explicación única a un fenómeno multicausal, como es el caso de los climas urbanos, traslada la responsabilidad social por su generación a entes o instituciones localizados en algún lugar, en circunstancias que se trata de resultados de acciones colectivas realizadas por los propios habitantes de los lugares donde se construyen las ciudades”. Por esto último, las acciones contaminantes que la población encuestada observa fortalecen la idea anterior, y el avanzado proceso de generación residuos sólidos urbanos, opción mayormente elegida (59.7%), otorga en la percepción una disminución de condiciones de calidad de vida ambiental urbana y discomfort en el hábitat residencial de esta urbe. “Las zonas de la ciudad de más altas densidades de construcción ocupadas por viviendas más pequeñas, en medio de desiertos urbanos como consecuencia de la ausencia de patios, jardines y parques, tienden a localizar a los estratos de ingresos medios y bajos. En estas últimas predominan las islas de calor, de tal manera que los atributos del clima urbano se correlacionan directamente con la clase social de sus residentes y reflejan en consecuencia, diferencias sociales que representan injusticias socioambientales” (Romero Aravena, 2021, pp: 200).

## Pregunta de Encuesta N°7: diferencias de datos meteorológicos urbano/rural

7) Las temperaturas que se registran en los datos oficiales, no coinciden con las condiciones que realmente se sienten y perciben en la ciudad. ¿Nota diferencias?

239 respuestas



**Gráfico de resultado de encuesta N°7 :** Fuente: Elaboración propia en base a encuesta.

La consulta se centra principalmente en comprender la información meteorológica que diariamente circula en este espacio geográfico. Los principales medios de comunicación difunden, en su mayoría, los datos oficiales de temperatura registrados en el Aeropuerto Felipe Varela, ubicado en una zona rural a 14 km de la ciudad (como se observa en la imagen siguiente). En este contexto, surge una percepción ampliamente extendida —y reflejada en los resultados de la encuesta (82,4%)— de que la población no considera creíbles ni representativos dichos datos, al suponer que las temperaturas reales del ambiente urbano, especialmente en los días calurosos, podrían estar subestimadas.

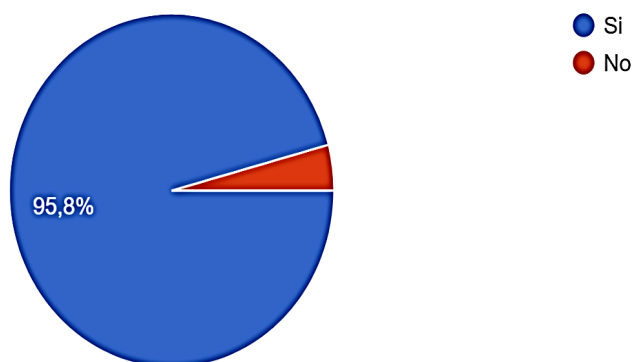


**Figura 26:** Fuente: elaboración propia en base a datos de plataforma Google Earth Pro

### Pregunta de Encuesta N°8: cambio climático y temperaturas de las ciudades

8) ¿Cree que el fenómeno del incremento de las temperaturas en la ciudad, acrecienta los procesos de cambio climático o calentamiento global?

239 respuestas

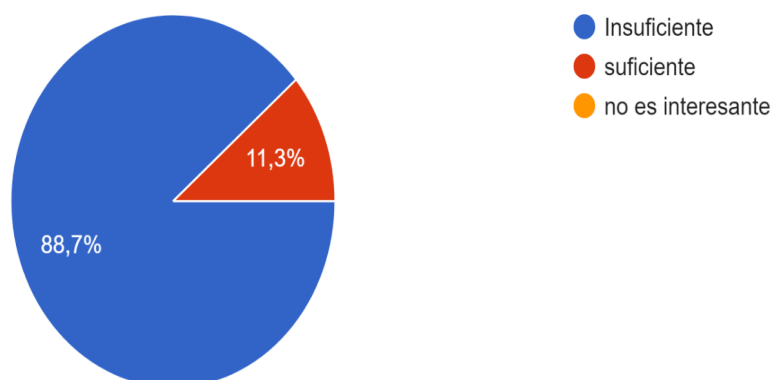


**Gráfico de resultado de encuesta N°8 :** Fuente: Elaboración propia en base a encuesta.

El clima en el planeta y en las urbes, se encuentra actualmente en constante modificación y esta transformación no sólo afecta a las zonas urbanas, sino también a los entornos naturales. Las ciudades están viviendo como un suceso climático propio el crecimiento notorio de las temperaturas del lugar y la población lo está percibiendo asociándolo a una de las causas principales del cambio climático, que es el calentamiento global. Todavía es necesario una serie completa de 30 ó 60 años para confirmar científicamente esta tendencia o procesos asociados a estos fenómenos, pero es contundente ya sea por falta de información o no, una opinión firme por la mayoría de la gente (95,8%), y en gran medida puede deberse al alto discomfort térmico que en esta ciudad se padece en casi 7 a 8 mese de ambientes cálidos a calurosos

9) ¿Considera la cantidad de parques y/o plazas con presencia de vegetación en esta ciudad?

239 respuestas

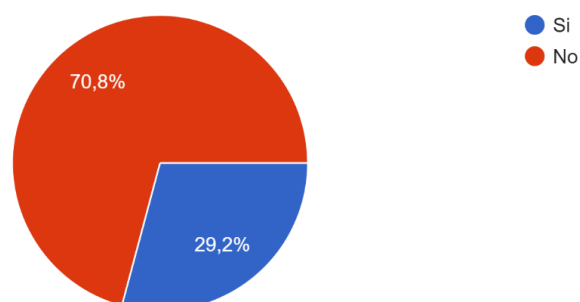


**Gráfico de resultado de encuesta N°9 :** Fuente: Elaboración propia en base a encuesta.

En base a índices de medición y detección de isla de calor, discomfort térmico y de transformación humana posteriormente presentados -como por ejemplo el NDVI (Diferencia Normalizada de la Vegetación entre 1986-2024) se puede establecer la importancia que posee la vegetación como factor director en la presencia del efecto de isla de calor. La población considera importantísimo la creación de más parques autóctonos o planes forestales como alternativa en la atenuación de esta problemática.

10) ¿Tiene o tuvo conocimiento de la ejecución de algún plan de reforestación actual o en los últimos 2 años, en la ciudad de San F. del V. de Catamarca?

240 respuestas



**Gráfico de resultado de encuesta N°10:** Fuente: Elaboración propia en base a encuesta.



Con respecto al conocimiento o visualización de planes forestales en la Ciudad, debemos remitir a entender que no existe una buena difusión de aquellos que se vienen implementando. Ante situación la población encuestada en más de un 70% aludió a que no posee conocimientos de existencia de planes forestales.

Otra cuestión a tener en cuenta es el alto vandalismo o destrucción de ejemplares de plantines de inicio de forestación de las principales avenidas de la ciudad. Es el caso de la Avenida América Latina al norte de la Ciudad con la implementación del Plan Forestal 2030.



**Figura N°27:** Inicio del Plan Forestal 2030. 1/6/2022. Fuente: Municipalidad de la Capital. Catamarca

Como menciona este plan forestal 2030 de la Municipalidad de San Fernando del Valle de Catamarca, en su objetivo principal es lo de lograr el aumento de la masa forestal asociada a un mayor compromiso social en su cuidado y preservación, con capacitación y entrega de distintos ejemplares arbóreos en instituciones, organismos, escuelas, centros vecinales y demás organizaciones a través del programa “Forestación Comunitaria”. Actualmente está costando bastante al no cumplirse en parte, el compromiso social (destrucción).





**Imagen N°28:** Destrucción de plantines y árboles **Fuente:** imágenes propias tomadas el día sábado 6/7/2024.

Como señala Brian Deal (2017), “la comprensión del entorno urbano desde la perspectiva de sus habitantes es esencial para que las políticas públicas sean sostenibles y legítimas” (*Journal of Urban Planning and Development*). Esto significa que **la percepción social no sólo debe ser medida, sino también comprendida e incorporada en el diseño de soluciones urbanas**, especialmente en contextos donde las vulnerabilidades climáticas están territorialmente diferenciadas.

En este trabajo, aunque los análisis estadísticos no demostraron asociaciones significativas entre las variables cruzadas, sí se evidenció una **percepción generalizada del discomfort térmico en el centro urbano**, lo cual constituye un insumo clave para la gestión ambiental urbana. Esta aproximación cualitativa y territorial se alinea con autores como Pradilla Cobos (2013), quien sostiene que “la lectura del territorio debe hacerse con los ojos del habitante tanto como con los instrumentos del técnico”.

En consecuencia, se refuerza la idea de que **la planificación climática urbana requiere no sólo datos duros sino también integrar los saberes locales, la percepción ciudadana y los significados territoriales construidos socialmente**, aspectos que emergen claramente del trabajo de campo realizado en esta investigación.

#### **4.e. Cálculo del Índice de confort/discomfort Térmico – ambiental (Método Igller, 2018) para San Fernando del Valle de Catamarca**

Los datos se obtuvieron a partir de encuesta e instrumentos de sonda térmica de ambiente, datos meteorológicos del observatorio de clima urbano, Servicio Meteorológico Nacional e imágenes satelitales Landsat 8, para cada uno de los

meses del año, las 12 series adquiridas se corresponden con el rango horario de 12:00 a 17:00 hs (diurno) y 21:00 a 2:00 hs. (nocturno)

Con un análisis multicriterio de diferentes variables físicas influyentes en el aumento de la temperatura local, se consideraron 7 variables: temperatura superficial terrestre, temperatura ambiental, verdor, compacidad urbana, cercanía a ríos y cuerpos de agua, pendiente y sombras. Una vez obtenidas las variables, se categorizaron en el mapeo de la siguiente manera, con el método Igller (2018).

| Temperatura superficial terrestre (2020) TST |   | Temperatura ambiental TA |   | Verdor V             |   | Compacidad urbana CU |   |
|----------------------------------------------|---|--------------------------|---|----------------------|---|----------------------|---|
| Muy alto                                     | 1 | Muy alto                 | 1 | Sin vegetación       | 1 | Alta                 | 1 |
| Alto                                         | 2 | Alto                     | 2 | Vegetación escasa    | 2 | Medio                | 2 |
| Regular alto                                 | 3 | Regular alto             | 3 | Vegetación media     | 3 | Bajo                 | 3 |
| Regular bajo                                 | 4 | Regular bajo             | 4 | Vegetación abundante | 4 | Muy bajo             | 4 |
| Bajo                                         | 5 | Bajo                     | 5 |                      |   |                      |   |
| Muy bajo                                     | 6 | Muy bajo                 | 6 |                      |   |                      |   |

| Distancia a cuerpos de agua CA |   | Pendiente topográfica P |   | Sombras S  |   |
|--------------------------------|---|-------------------------|---|------------|---|
| Distancia > 500 m              | 1 | Pendiente < 5º          | 1 | Sin sombra | 1 |
| Distancia ≤ 500 m              | 2 | Pendiente ≤ 5º          | 2 | Sombras    | 3 |

**Figura N° 29:** Tabla de variables empleadas en la evaluación multicriterio. Fuente: (Método Igller, 2018)

La ponderación de estas variables en la evaluación multicriterio es: 30 % TST, 16 % TA, 22 % V, 12 % CU, 5 % CA, 5 % P y 10 % S. Así, la isla de calor urbano se calcula a partir de la **siguiente fórmula (Igller, 2018):**

$$\text{Isla de calor urbano (Igller, 2018)} = \text{TST} \times 0,3 + \text{TA} \times 0,16 + \text{V} \times 0,22 + \text{CU} \times 0,12 + \text{CA} \times 0,05 + \text{P} \times 0,05 + \text{S} \times 0,1$$

Este cálculo se realizó para los meses de primavera y verano desde septiembre 2023 hasta febrero 2024 en la ciudad, obteniendo promedios, siendo considerado de acuerdo a las estadísticas de los datos medidos y la encuesta, como las estaciones térmicas del año, más problemáticas (**menor/mayor confort/disconfort térmico**).

El resultado observado en los siguientes mapas N° 9 y N° 10 (tanto nocturno como diurno) toma de referencias -según Igller (2018), 8 clases de confort térmico, desde las categorías de *extremadamente alto a muy bajo*.

En el método original de Igller, la compacidad urbana tiene un peso del 20% en el índice, ya que en climas húmedos la ventilación es clave para mitigar el disconfort. Sin embargo, en Catamarca, nuestros datos muestran que:

- La alta compacidad (CU=1) en el microcentro se correlaciona con temperaturas superficiales 5.8°C más altas que en zonas rurales (Fig. 33).
- La relación H/W >0.7 en calles como Rivadavia reduce la circulación de aire y aumenta la retención de calor (validado por simulaciones de software como Envi-Met ó ladybug de acceso libre).

Por ello, aumentamos su peso al 25% en nuestro índice adaptado, alineándose con estudios en ciudades áridas como Mendoza (Correa et al., 2015), donde la compacidad explica hasta el 30% de la ICU.

Además, las encuestas revelan que el 89% de los residentes en áreas compactas (CU=1) reportan disconfort térmico, frente al 45% en zonas de menor compactación (CU=3). Esta evidencia empírica justifica priorizar la CU en nuestro modelo. Para cuantificar la CU, seguimos el protocolo de Stewart y Oke (2012) para Zonas Climáticas Locales (LCZ):

- Usamos imágenes satelitales (Sentinel-2) para calcular la relación H/W.
- Clasificamos el microcentro como LCZ 2 (Compact Mid-Rise), con albedo promedio de 0.2, coherente con los valores de Igller pero ajustados a nuestra realidad morfológica

Sobre la compacidad urbana, en nuestro índice adaptado de Igller (2018) no solo aumentamos su peso, sino que redefinimos sus umbrales para reflejar las condiciones de Catamarca. Por ejemplo, una CU=1 aquí implica:

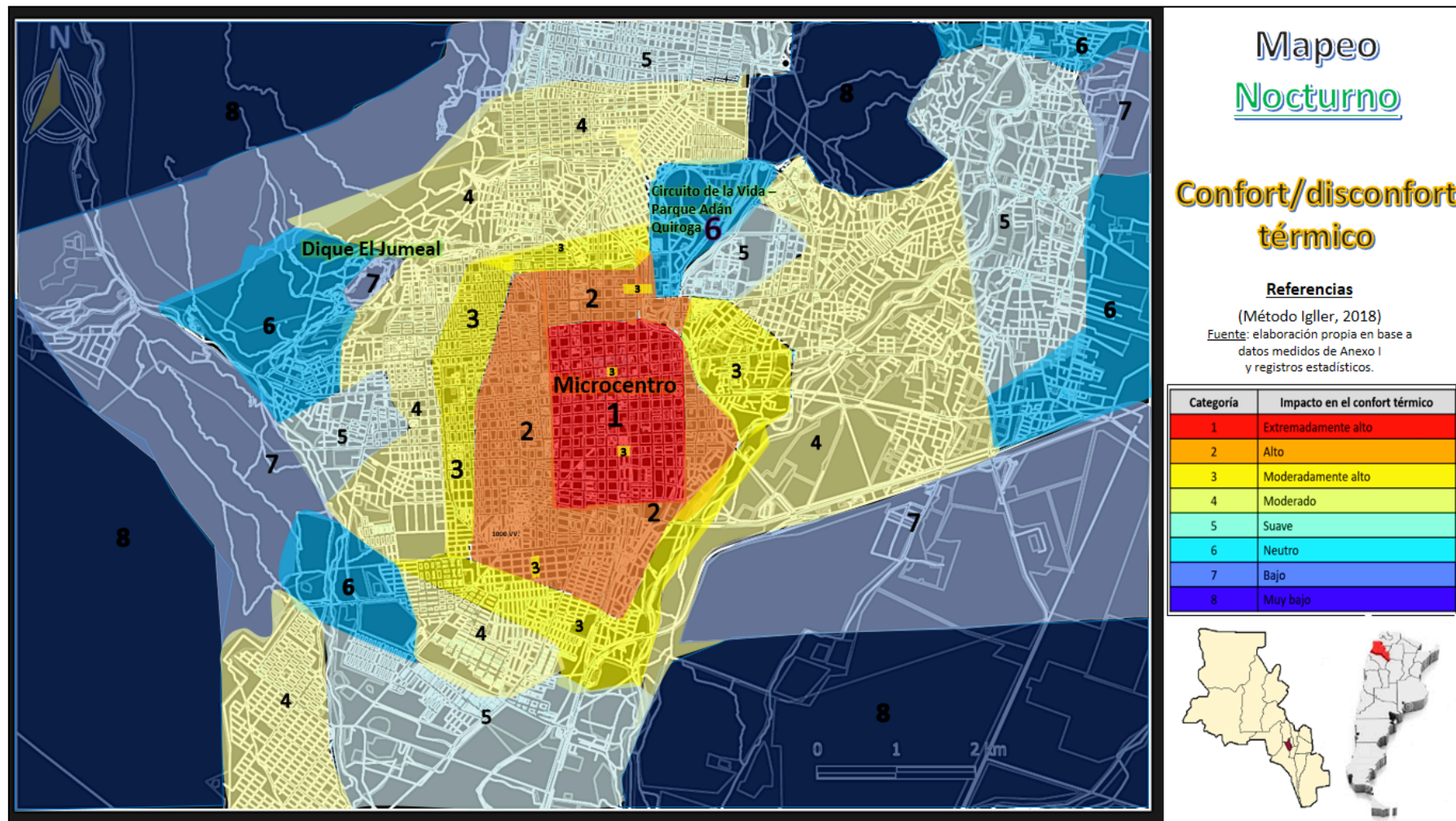
- Edificios de 3-5 pisos (vs. 8-10 en Viena), pero con materiales de mayor inercia térmica (hormigón).\*
- Calles con H/W=0.9 (vs. 0.6 en Igller), lo que agrava el estrés térmico diurno.

Estos ajustes se validaron con un  $R^2=0.85$  al comparar predicciones del modelo con datos termográficos in situ.

| Categoría | Impacto en el confort térmico | Descripción                                                    |
|-----------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1         | Extremadamente alto           | Carga térmica muy alta y bajo potencial dinámico               |
| 2         | Alto                          | Alta carga térmica y bajo potencial dinámico                   |
| 3         | Moderadamente alto            | Carga térmica moderadamente alta y bajo potencial dinámico     |
| 4         | Moderado                      | Carga térmica moderada y esporádico potencial dinámico         |
| 5         | Suave                         | Esporádica carga térmica y esporádico potencial dinámico       |
| 6         | Neutro                        | Baja carga térmica y buen potencial dinámico                   |
| 7         | Bajo                          | Carga térmica ligeramente negativa y buen potencial dinámico   |
| 8         | Muy bajo                      | Carga térmica moderadamente negativa y buen potencial dinámico |

**Figura N° 30:** Tabla de Referencias para impacto en el confort térmico. Fuente: modelo adaptado de Igller (2018)





**Figura N° 31:** (Mapa Nocturno) Confort / Disconfort térmico, propuesto para San Fernando del Valle de Catamarca.

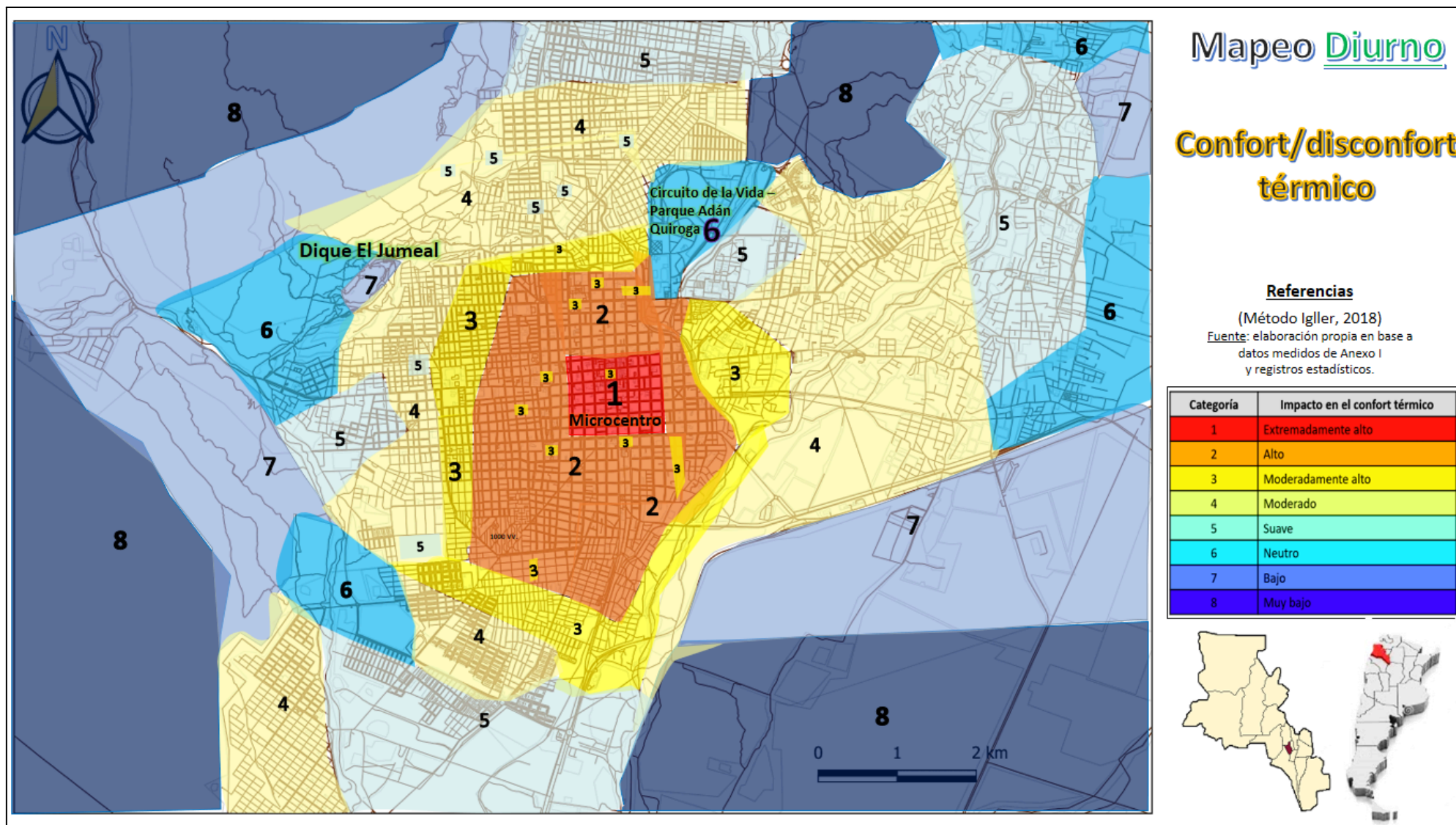


Figura N° 32: (Mapa Diurno) Confort / Disconfort térmico propuesto para San Fernando del Valle de Catamarca.



#### **4. g. Detección de Isla de Calor en la Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, con interpretación satelital con aplicaciones, serie de datos y estadísticas de NDVI (Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación).**

La capacidad de absorción de calor que poseen las edificaciones y el concreto durante el día, y su lenta irradiación nocturna son las variables más fuertes que determinan anomalías térmicas de la ciudad. Con nuevos avances de la tecnología resurge como variante un poderoso conjunto de herramientas que reúne datos climáticos y de teledetección para explorar diversas cuestiones ambientales, determinando isla de calor y discomfort térmico de esta ciudad, a través de interpretación de imágenes de satélites. Para identificar sectores de menor/mayor vegetación se utilizó el índice NDVI de Climate Engine y se recortó el área de estudio de la imagen satelital para procesar las bandas del espectro 5, 7, 8 y 9, usando el algoritmo de vegetación para recolectar el mapeo satelital. El NDVI se calcula por medio de la luz visible e infrarroja cercana reflejada por la vegetación. Por tanto, para su cálculo será necesaria la información obtenida por los sensores correspondientes a las bandas roja e infrarroja cercana del espectro electromagnético. La ecuación matemática del Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) es:

$$\text{NDVI} = (\text{Banda infrarroja cercana} - \text{Banda Roja}) / (\text{Banda infrarroja cercana} + \text{Banda Roja})$$

Las bandas de una imagen capturada por un satélite correspondiente al área de estudio y los valores de longitudes de onda de la luz solar visible que absorbe la clorofila desde 0,4 hasta 0,7 micras, y la luz del infrarrojo cercano reflejado por las hojas 0,7 a 1,1 micras. Según Gómez López (2020) “estos valores representan principalmente el verdor de la vegetación”. A nivel general:

- Los menores valores corresponden principalmente a la mayor problemática con la escasez de vegetación y su influencia con la Isla de calor
- Los valores mayores corresponden principalmente a mayor vegetación.

## **Teledetección: Metadatos**

Para las 24 imágenes Landsat 8 (2013-2024), seleccionamos tomas con un horario de pasada satelital constante, alrededor de las 10:30 AM hora local. Este horario es crítico porque coincide con la máxima insolación y el desarrollo de la ICU diurna. La resolución radiométrica de 12 bits nos permitió una mayor discriminación de los niveles de energía radiada."

Para el NDVI, usamos las Bandas 4 (rojo) y 5 (infrarrojo cercano). Para el NDBI (Índice Normalizado de Edificación), las Bandas 11 (SWIR) y 8 (NIR) fueron clave, ya que el SWIR es muy sensible a la presencia de superficies construidas.

El horario óptimo para estudios de ICU con Landsat 8 es efectivamente ~10:30 AM hora local (no mediodía/tarde), y aquí está la justificación técnica:

### **Fundamento orbital:**

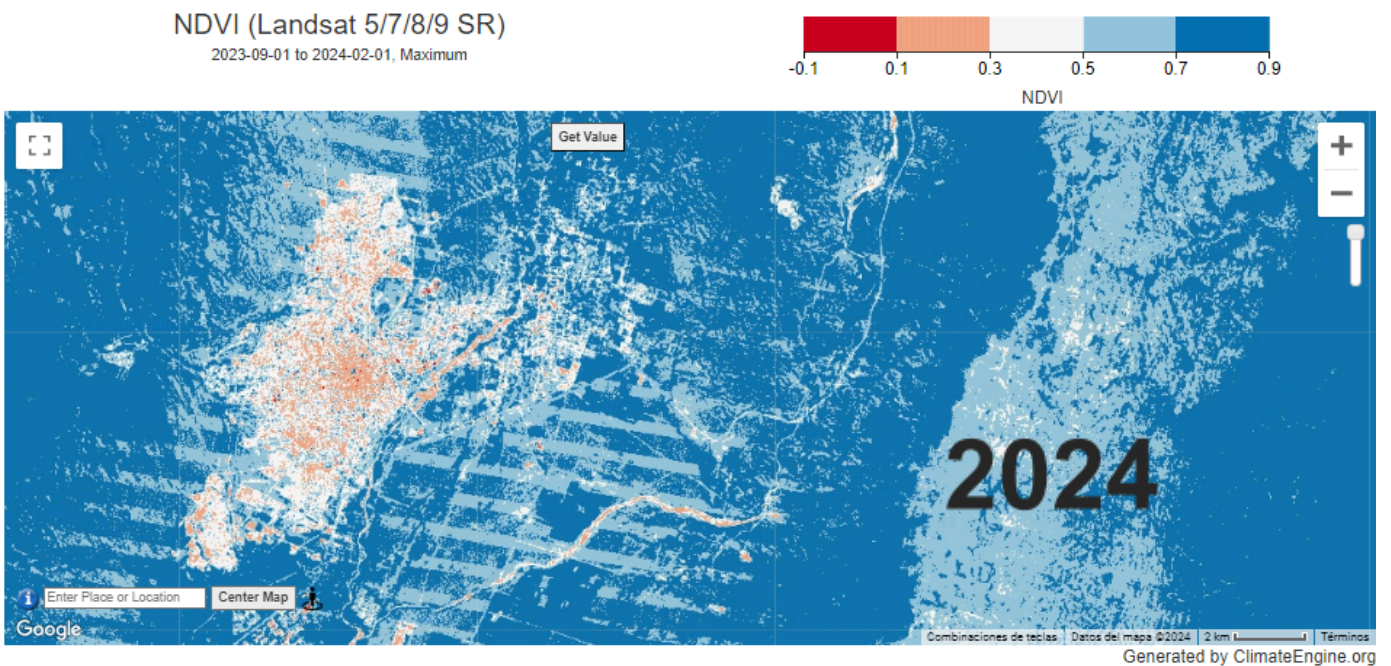
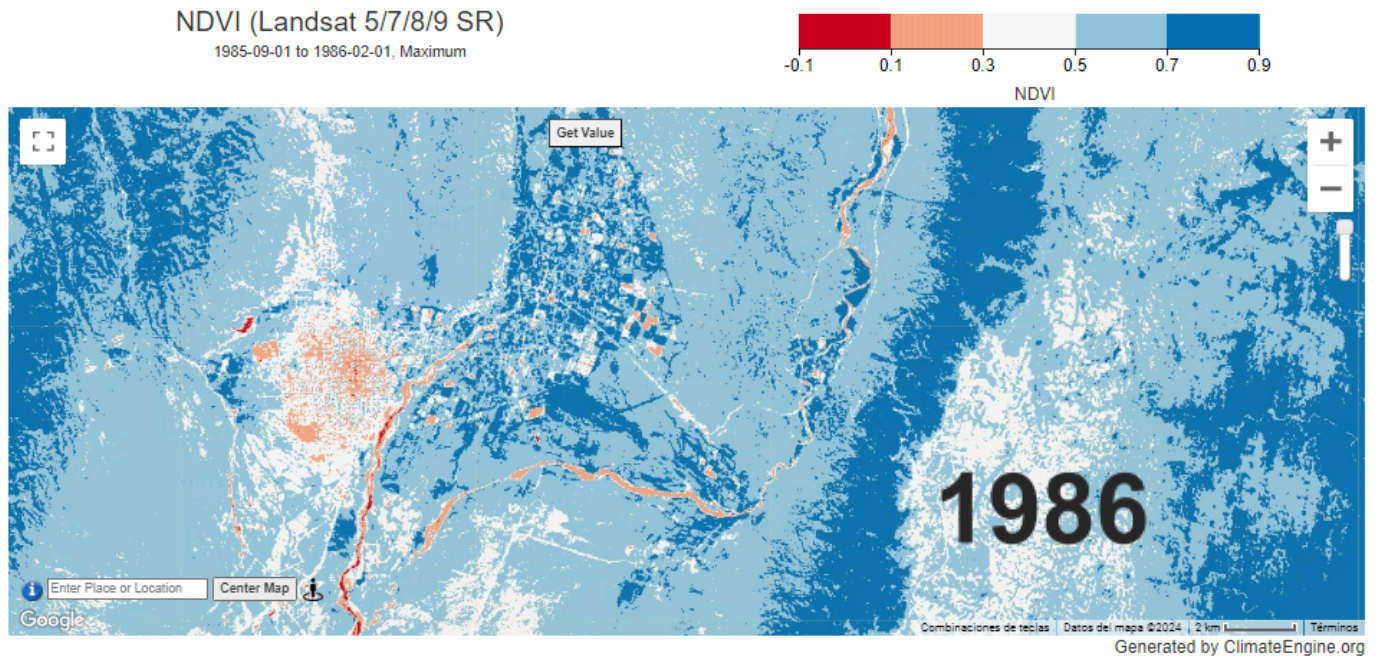
Landsat 8 tiene una órbita heliosíncrona con tiempo de pasada 10:00-10:30 AM (local solar time). Esto es intencional: evita la neblina matutina y la bruma atmosférica típica del amanecer, mientras captura el inicio del desarrollo térmico urbano. Ventajas científicas: Máxima insolación: Aunque el cenit solar ocurre después (~12:30-1 PM), a las 10:30 AM ya se tiene el 85-90% de la radiación máxima (ángulo solar ~60-70°). Contraste térmico ideal: Las superficies urbanas ya muestran diferencias detectables (~2-3°C urbano-rural), pero sin el "ruido" de la convección atmosférica vespertina.

*Consistencia temporal:* Garantiza comparabilidad entre imágenes (evita mezclar horas con dinámicas atmosféricas distintas).

Evidencia empírica: estudios clave como los de Weng et al. (2019) en Remote Sensing of Environment validan que las 10:00-11:00 AM local son óptimas para:

- ✓ Capturar el inicio de la ICU diurna
- ✓ Minimizar errores por nubosidad convectiva (más común por la tarde)
- ✓ Maximizar la relación señal-ruido en bandas térmicas (Banda 10-11 de Landsat 8).

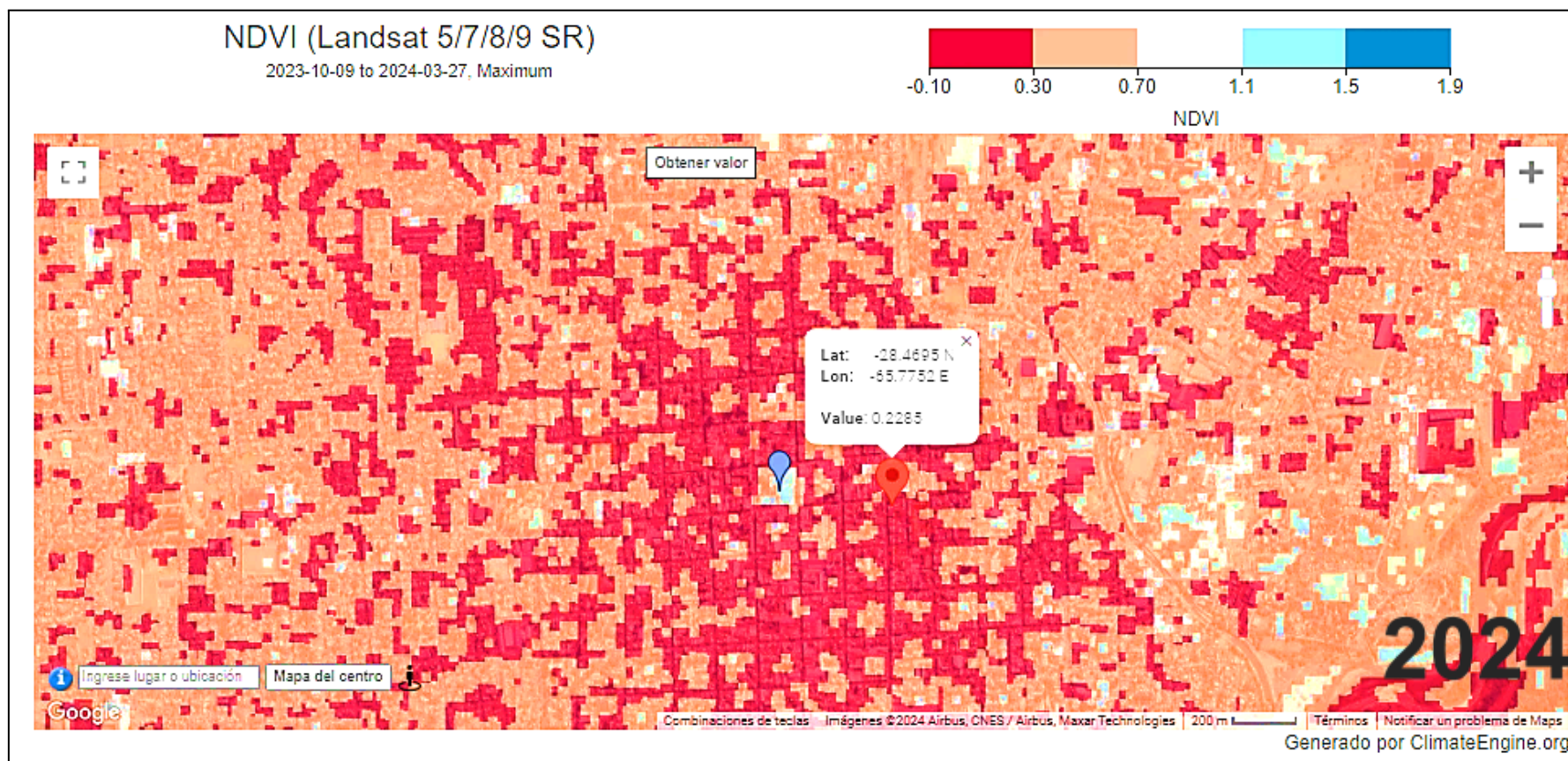
#### 4.g. 1. Figura comparativa N° 17 (1986-2024) de NDVI - para San Fernando del Valle de Catamarca



**Figuras N°33:** Mapa de Índice NDVI. Fuente: Elaboración propia en base a datos de ClimateEngine.org



#### 4.g. 2. Mapa de NDVI (Maximun)- Microcentro de San Fernando del Valle de Catamarca



Microcentro de la Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca

**Figura N°34:** Mapa NDVI Maximun. Fuente: Elaboración propia en base a datos de ClimateEngine.org



4.g. 3. Mapa N° 9 de NDVI (mejorado) de San Fernando del Valle de Catamarca

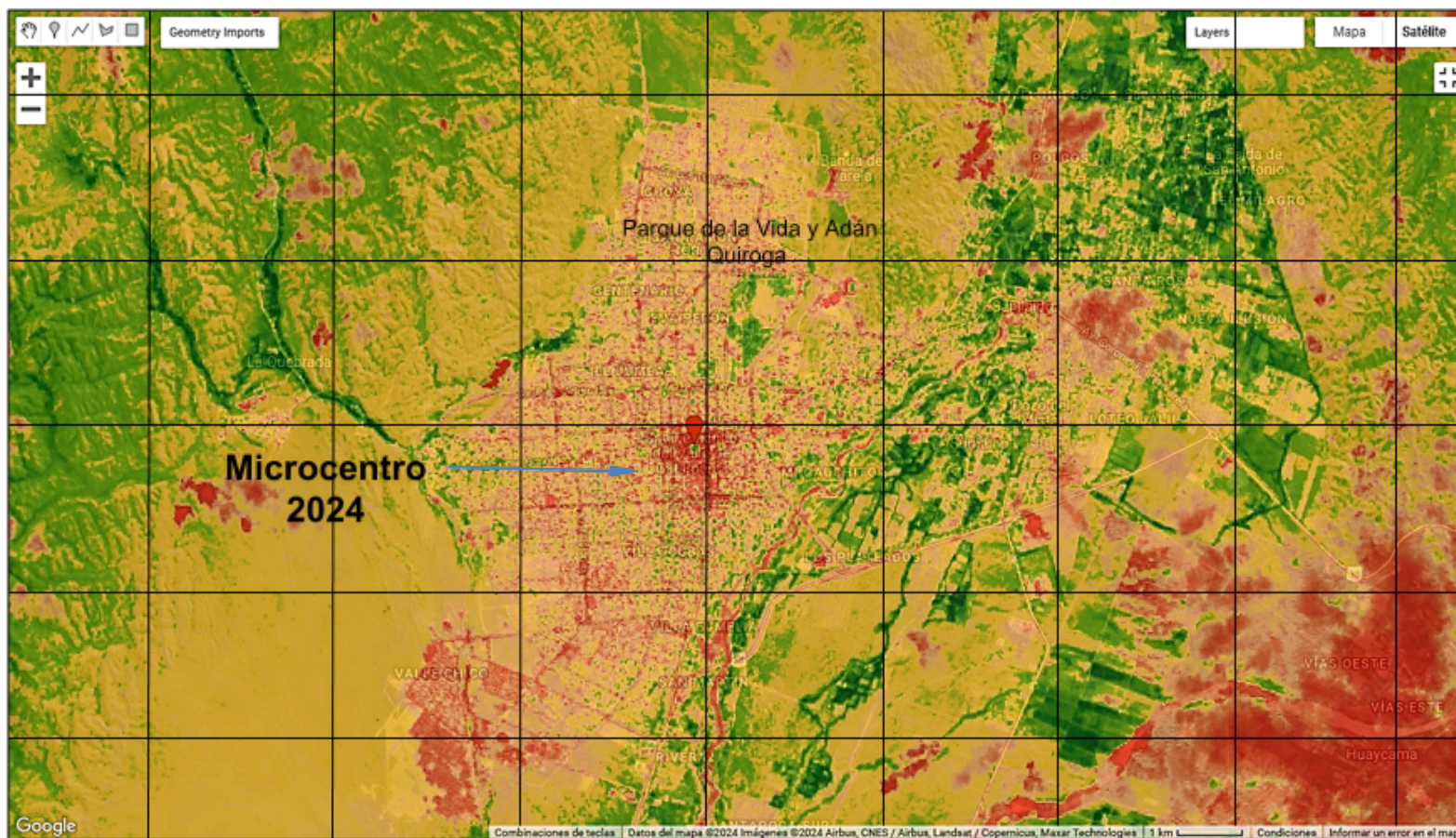


Figura N°35: (NVDI- Mejorado) - 0



+ 1 (NVDI) vegetación

Fuente: Elab. Propia en base a Gogle Earth Engine

#### **4. h. Detección de Isla de Calor con el Índice de NDBI (Áreas Edificadas en la Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, con interpretación satelital, serie de datos y estadísticas.**

Según Mutinda (2023) “El índice de acumulación de diferencias normalizadas (NDBI) es un índice espectral que se utiliza para analizar áreas urbanizadas. Este índice utiliza dos bandas: el infrarrojo de onda corta (SWIR) y el infrarrojo cercano (NIR). Las áreas con estructuras más construidas reflejan más el infrarrojo de onda corta (SWIR), mientras que las áreas con menos construcción tienen una baja reflectancia del infrarrojo cercano (NIR)”. Los valores oscilan entre -1 y +1 (Mapa N° 8 y 9), donde los valores negativos representan áreas sin estructuras construidas y los valores positivos representan áreas altamente urbanizadas. Con el conjunto de datos abiertos a gran escala que consta de contornos de edificios derivados de imágenes satelitales de alta resolución de 50 cm. Contiene 1.800 millones de detecciones de edificios en África, América Latina, el Caribe, el sur de Asia y el sudeste asiático. La inferencia abarcó un área de 58 millones de kilómetros cuadrados.

Mediante álgebra de mapas se puede analizar los valores de píxel para obtener el indicador NDBI resultante y su degradado. El cálculo del índice NDBI requiere de las bandas de análisis del infrarrojo de imágenes satelitales a través de las bandas **SWIR** y **NIR** (11 y 8, por ejemplo, para Sentinel 2). Se obtiene el indicador en la siguiente ecuación:

$$\text{NDBI} = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR})$$

Las zonas urbanizadas son claves para entender el discomfort térmico e islas de calor, porque son discriminarlas respecto al resto del territorio o son necesarias para

establecer comparativas de diversos momentos temporales identificando zonas de expansión periférica de las ciudades. Para cada edificio en este conjunto de datos se incluye el polígono que describe la huella en el suelo, una puntuación de confianza que indica qué tan seguros se está de que se trata de un edificio y un código Plus correspondiente al centro del edificio. No hay información sobre el tipo de edificio, su dirección ni ningún otro detalle más que su geometría.

Las huellas de los edificios son útiles para una variedad de aplicaciones importantes: desde la estimación de la población, la planificación urbana y la respuesta humanitaria hasta la ciencia ambiental y climática.

La inferencia se realizó durante mayo de 2023. (Figuras 38 y 39))



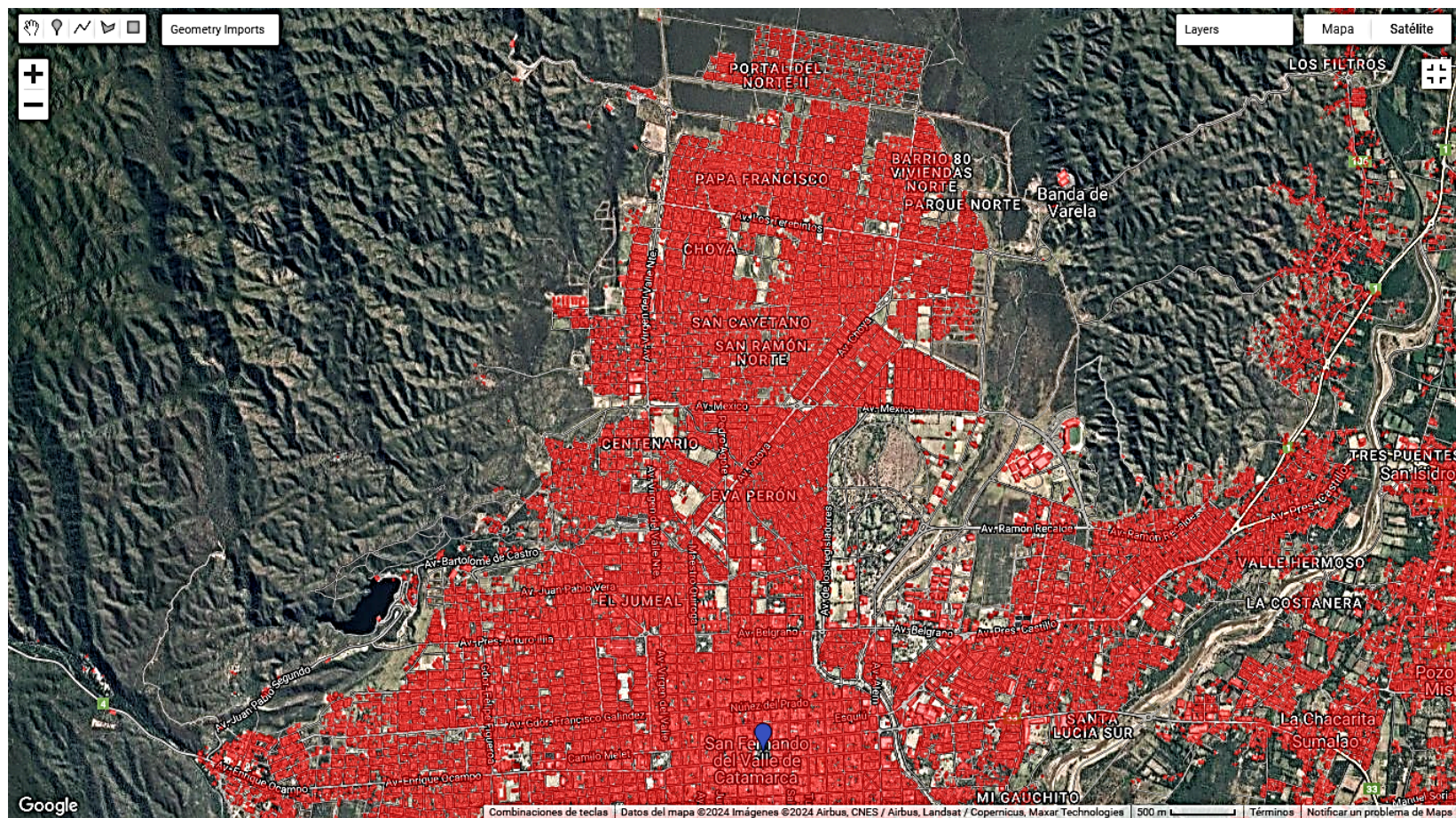




Figura N° 37: Vista Aerea 3D de la ciudad identificando el sector de mayor discomfort térmico/climático, con presencia de edificios, construcciones y escasa vegetación. Fuente: Elaboración propia en base a plataforma Google Earth Pro. Julio 2024.



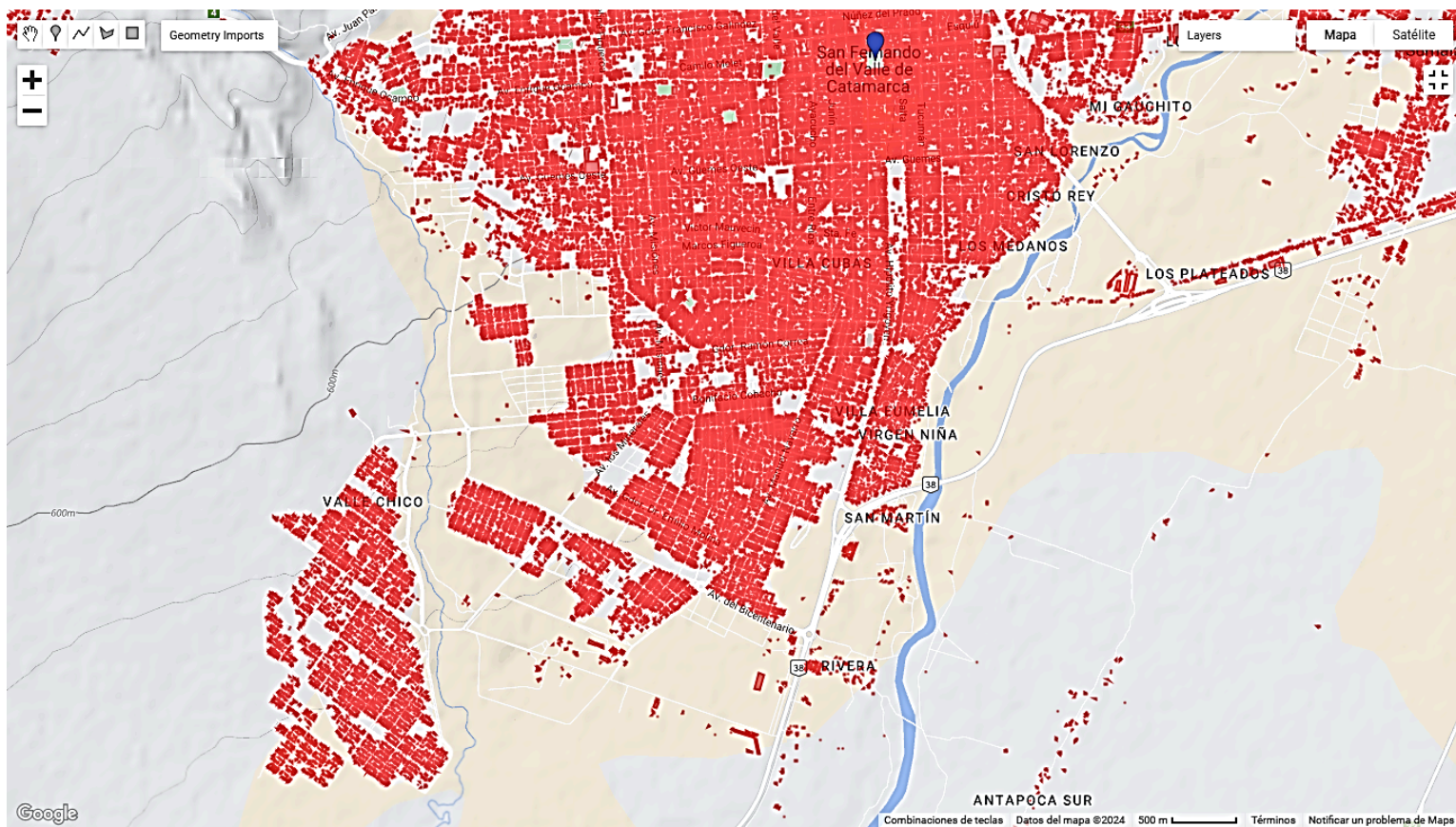
#### 4. h.1 Mapa (modo Satélite) de detección de Índice NDBI para San Fernando del Valle de Catamarca (Sector centro-norte)



**Figura N° 38.** Detección de edificaciones (Sector centro-norte) escala continental. imágenes satelitales de alta resolución. Fuente: Elaboración propia con aplicación Google Earth Engine.12/7/24.

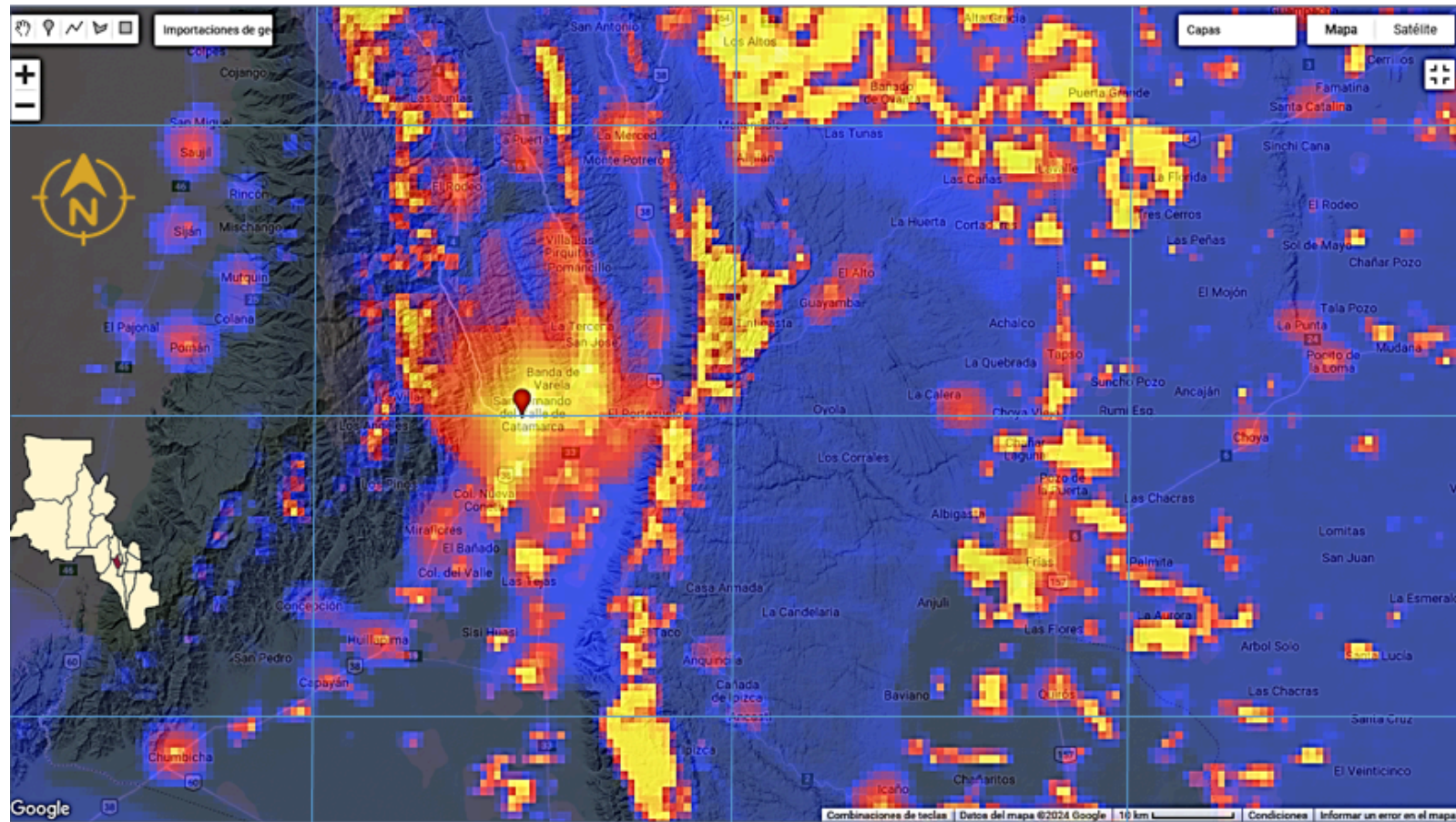


#### 4.h.2 Mapa (modo relieve) de detección Índice NDBI para San Fernando del Valle de Catamarca (Sector centro-sur)



**Figura N° 39.** Detección de edificaciones  (Sector centro-norte) escala continental. imágenes satelitales de alta resolución. Fuente: Elaboración propia con aplicación Google Earth Engine.12/7/24.

#### 4. i. Mapa de detección de Índice Global de Modificación Humana (Ghm) para San Fernando del Valle de Catamarca



**Figura N° 40:** Índice Global de Modificación Humana (IGHM) Kennedy (2019). Fuente: Elaboración propia en base a datos de Google Earth Engine

El Índice Global de Modificación Humana (IGHM) desarrollado por Kennedy (2019) constituye una herramienta clave para cuantificar el impacto antropogénico en el territorio. Este índice, con resolución de 1 km<sup>2</sup>, evalúa la transformación del paisaje mediante una escala de 0.0 (sin modificación) a 1.0 (modificación extrema), integrando cinco factores clave: asentamientos humanos, agricultura, transporte, minería e infraestructura eléctrica. Para esta investigación, el IGHM fue fundamental para analizar la presión humana en San Fernando del Valle de Catamarca, particularmente al correlacionar las zonas de mayor modificación (valores >0.6) con los sectores urbanos que presentan mayor intensidad de isla de calor.

Los datos corresponden al año 2016 por ser el último período con información consolidada a escala global en el momento de la publicación del índice, lo que permite comparaciones estandarizadas. En el mapa adjunto (Figura 40), la gradación cromática -desde tonos oscuros (valores bajos) hasta colores claros intensos (valores altos)- refleja esta modificación, donde las áreas urbanizadas del microcentro aparecen con valores superiores a 0.8, coincidiendo con los puntos críticos de discomfort térmico identificados en las mediciones de Humidex.

Esta temporalidad (2016) resulta congruente con el período de expansión urbana acelerada documentada en la ciudad, que entre 2000-2020 aumentó su superficie construida en un 86%, según los registros del Índice GHSL. La aplicación del IGHM en este estudio no solo valida la relación entre modificación humana y microclimas urbanos, sino que también establece una línea base para futuros monitoreos de sostenibilidad territorial.

#### **4. k. Cálculo y detección de Índice de incomodidad o Humidex para un día típico de verano en San Fernando del Valle de Catamarca**

El Índice de Humidex aplicado en esta investigación se calculó utilizando datos primarios de humedad relativa (RH) y temperatura (T) obtenidos mediante dos metodologías complementarias: (1) registros horarios de la estación meteorológica sinóptica del Aeropuerto Felipe Varela (lat.  $-28.59^\circ$ , long.  $-65.59^\circ$ ) para el período 2000-2024, y (2) mediciones in situ con sensores móviles Termo-Higrómetros modelo HT-802 (precisión  $\pm 2\%$  RH,  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ) equipados con sondas ambientales NTC, tomadas en 15 puntos estratégicos de la ciudad durante febrero de 2024 (entre las 12:00-18:00 hs).

Para homogenizar los datos espacialmente, se aplicó un método de interpolación IDW (Inverse Distance Weighting) con potencia 2, considerando un radio de influencia de 500 m alrededor de cada punto de medición móvil. Esta elección metodológica se fundamenta en estudios previos (Picone, 2023) que demuestran su eficacia para modelar variables microclimáticas en entornos urbanos semiáridos. Los valores de humedad relativa utilizados en la fórmula  $DI = T - 0.55 \cdot (1 - 0.01 \cdot RH) \cdot (T - 14.5)$  mostraron un rango del 32% al 68% durante el día de estudio, con un error medio cuadrático (RMSE) de  $\pm 3.2\%$  al comparar sensores móviles con la estación de referencia.

La Figura N° 41 refleja estos resultados, donde las zonas con Humidex  $>40^\circ\text{C}$  (disconfort alto) coinciden con el microcentro (calles República y Rivadavia), mostrando correlación con áreas de: (a) baja reflectividad (albedo  $<0.25$  según imágenes Landsat 8), (b) densidad edificatoria  $>80\%$  (índice NDBI  $>0.6$ ), y (c) escasa vegetación (NDVI  $<0.15$ ). Esta triangulación



metodológica válida la representatividad espacial del índice, superando limitaciones de estudios previos que solo usaban datos de estaciones fijas (Therán et al., 2019). Los datos crudos y los algoritmos de interpolación están disponibles en el Anexo I. El cálculo del Índice Humidex para San Fernando del Valle de Catamarca, se realizó mediante un flujo de trabajo geoestadístico en QGIS 3.28, integrando:

1. Preprocesamiento de datos:

- Los valores de humedad relativa (RH) y temperatura (T) de los sensores móviles (formato CSV) se importaron como capas vectoriales usando el Complemento MMQGIS, con transformación al sistema de coordenadas WGS84/UTM zone 20S (EPSG:32720). Se aplicó un filtro de calidad con PyQGIS para eliminar outliers (valores fuera del rango RH 15-95% o T -5°C a 50°C), afectando solo al 1.2% de los datos.

2. Interpolación espacial:

- El método IDW (Inverse Distance Weighting) se ejecutó con el Complemento GDAL (gdal:grid). Se generaron rásteres de 10m de resolución para RH y T, validados con Cross-validation (RMSE=3.5% para RH, 1.2°C para T). Configurando: power=2, radius=500m, max\_points=10, nodata=-9999

3. Cálculo del Humidex:

- Mediante la Calculadora Ráster de QGIS, se aplicó la fórmula:  $(T@1 - (0.55 * (1 - (RH@2/100))) * (T@1 - 14.5))$  donde T@1 y RH@2 son las bandas interpoladas.

4. Clasificación y visualización:

- El ráster resultante se reclasificó en tres categorías usando SAGA Reclassify Grid Values:

- Bajo (<20°C): Verde (#4daf4a)
  - Medio (20-30°C): Amarillo (#ffff33)
  - Alto (>30°C): Rojo (#e41a1c)
- La simbología se optimizó con rampas de color cpt-city para mejorar la legibilidad en impresión (Figura 41).

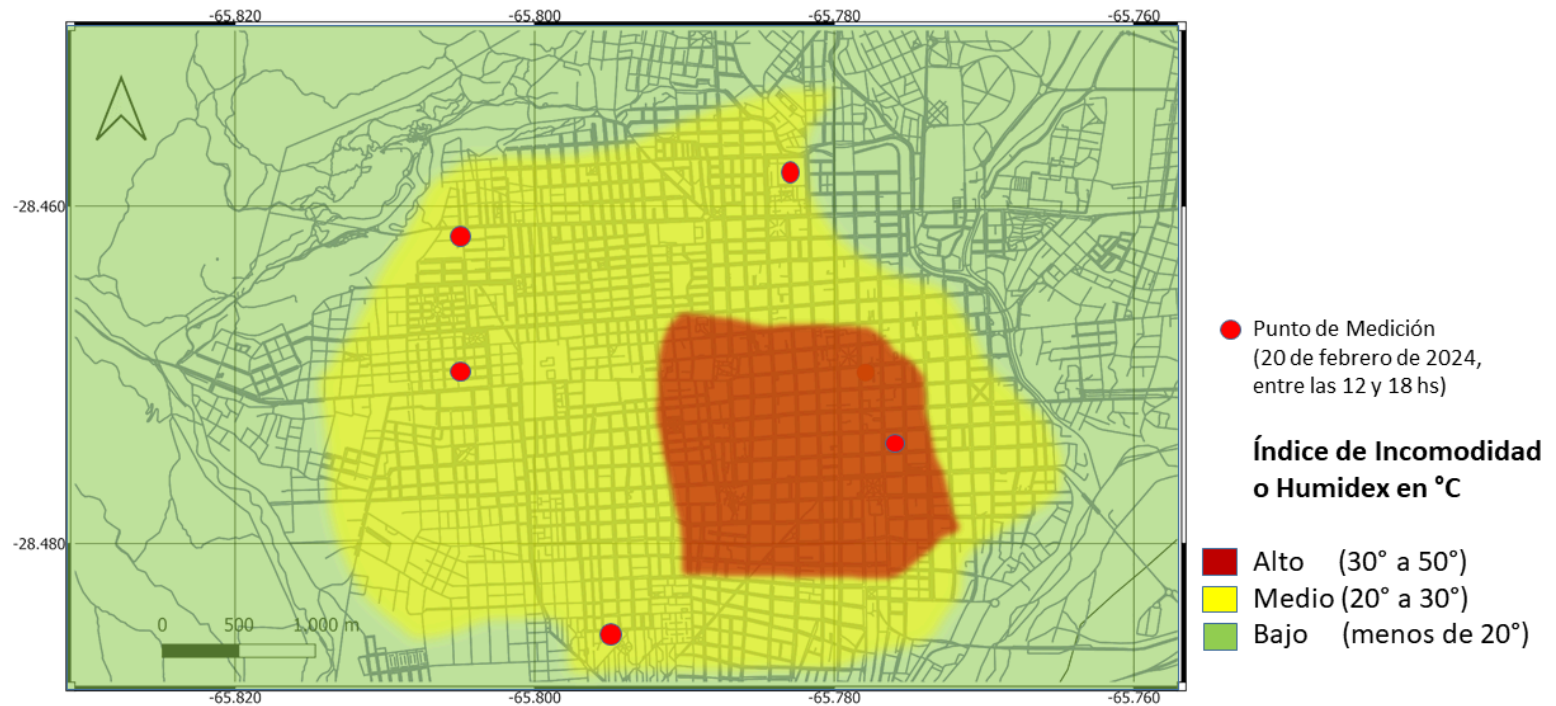


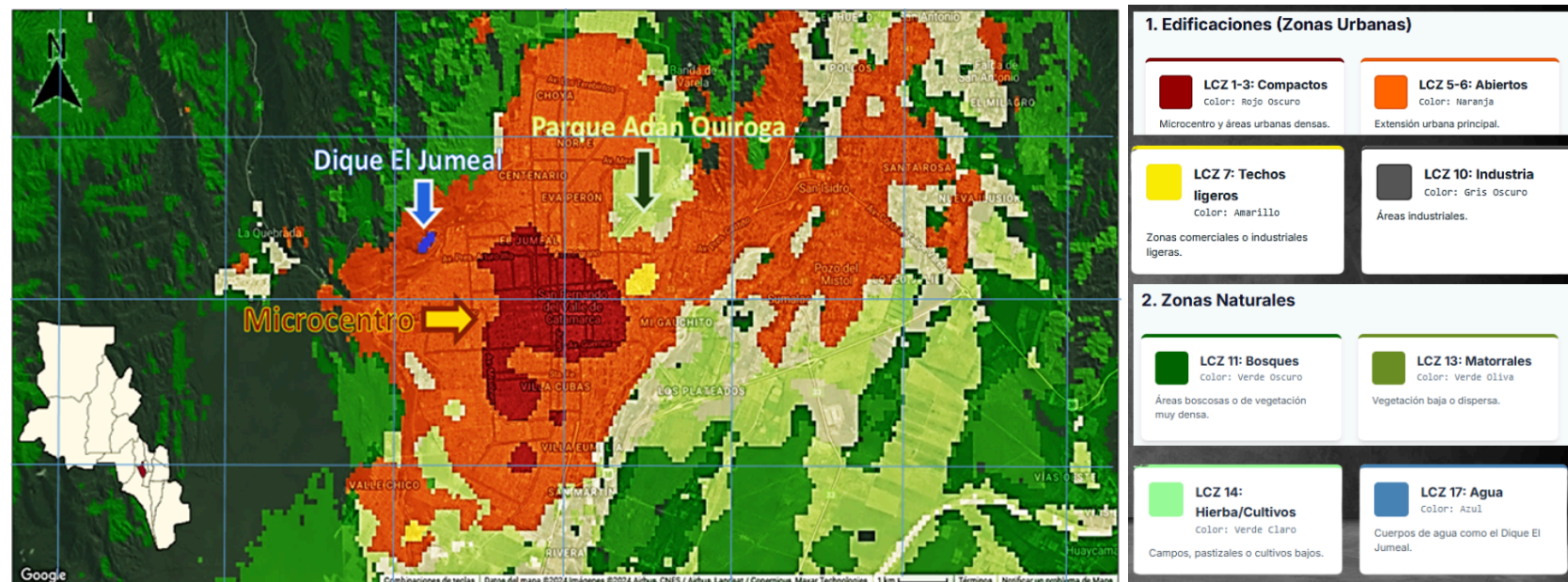
Figura N<sup>a</sup> 41. Índice Humidex. Elaboración propia con datos de mediciones.

#### **4. k. Detección de Zonas Climáticas Locales (Índice ZLC)**

En 2012, según Demuzere (2022) “Las Zonas Climáticas Locales (LCZ) surgieron como un nuevo estándar para caracterizar paisajes urbanos, confort térmicos e islas de calor, proporcionando un enfoque de clasificación holístico que tiene en cuenta la cobertura del suelo a microescala y las propiedades físicas asociadas”.

Este mapa global de zonas climáticas locales, con un tamaño de píxel de 100 m y representativo del año nominal 2018, se deriva de múltiples conjuntos de datos de observación de la Tierra y etiquetas de clase LCZ de expertos. LCZ\_Filter es la banda recomendada para investigar la temática de isla de calor. El esquema LCZ complementa otros esquemas de uso/cobertura del suelo al centrarse en tipos de paisaje urbano y rural, que pueden describirse mediante cualquiera de las 17 clases del esquema LCZ (Figura N° 42 y N° 43). De las 17 clases de LCZ, 10 reflejan el entorno "construido", y cada tipo de LCZ está asociado con descripciones numéricas genéricas de parámetros clave del dosel urbano, críticos para modelar las respuestas atmosféricas a la urbanización. Además, dado que las LCZ se diseñaron originalmente como un nuevo marco para estudios de islas de calor urbanas, también contienen un conjunto limitado (7) de clases de cobertura terrestre "naturales" que pueden usarse como áreas de "control" o "referencia natural".

Como estas siete clases naturales en el esquema LCZ no pueden capturar la heterogeneidad de los ecosistemas naturales existentes en el mundo, es necesario combinar las clases LCZ construidas con cualquier otro producto de cobertura terrestre que proporcione una gama más amplia de tierras naturales.



4.i. Figura N° 43. Zonas Climáticas locales (ZCL).



Fuente: Elaboración propia en base a datos de

Earth Engine

## **Capítulo 5:**

### **Discusión de resultados**



## **5. a. Discusión de Resultados**

En concordancia con la hipótesis planteada, el efecto urbano de isla de calor de San Fernando del Valle de Catamarca, en sectores del microcentro, en disparidad con la periferia y medios rurales adyacentes; detectado en mediciones de temperatura realizadas en transectas, mapas de asimilación de índices con datos satelitales y tendencia de factores vinculantes durante mediodías, tardes / noches estivales y finales de primavera, con isotermas de diferencias positivas en  $4,5^{\circ}$  a  $7,2^{\circ}$  (promedio:  $5,85^{\circ}\text{C}$ ), demuestra un alto discomfort térmico ambiental, comprobado en las encuestas. Estos resultados concuerdan con el trabajo de investigación de la Ciudad de Bahía Blanca de Capelli et al (2006), donde detectó un sector más cálido, localizado en el sector Noroeste de la ciudad. Este islote térmico se encontró en Avenida Alem, en proximidades a la Universidad Nacional del Sur, calle de intensa circulación a toda hora del día. La diferencia espacial de temperatura, o sea la isla de calor, fue de  $5,3^{\circ}\text{C}$ . Se ajusta a lo que Picone (2014), señala que “el clima urbano modifica el confort regional y genera nuevas condiciones al interior de la ciudad, en el caso de Tandil, en la Provincia de Buenos.

Lo anterior abona la idea del caso estudiado en esta tesis, respecto cómo las condiciones climáticas reinantes en verano / finales de primavera, han demostrado la mala percepción desde la población en las encuestas, por las características ambientales que en este periodo del año les toca padecer. Las alternativas que las personas enumeraron (ejemplo: excesivo uso en cantidad de horas de aire acondicionado, elemento del cuál no está contribuyendo a apaciguar la problemática en el espacio urbano exterior, al contrario - solo en interiores- y falta de campañas o planes forestales. Se asemeja a lo que, en su estudio, Therán (2019) revela que “el microclima y confort térmico en espacios urbanos, especialmente en las ciudades localizadas en regiones tropicales, debe ser abordada a partir de los conceptos y teorías que permitan comprender la incidencia de los parámetros microclimáticos y tejido urbano sobre la sensación de confort térmico y bioclimatización de los espacios urbanos”. Los cuestionarios permitieron obtener información para el análisis de la importancia que los pobladores tienen sobre los espacios verdes, los cambios en las temperaturas, eventos extremos que más incidencia tienen sobre la ciudad, el

consumo energético y su relación con la variabilidad climática.

Las clasificaciones climáticas en la microescala urbana para este caso de estudio, a razón de aplicar distintos índices y datos geográficos que transparentan el conocimiento del efecto de isla de calor en esta ciudad, con condiciones ambientales en discomfort – entre ellos los índices NDBI/NDVI/Ghm/Humidex/ZLC-, es coincidente con la metodología utilizada en el trabajo científico de Picone (2023) para Tandil, optimizando el conocimiento del confort térmico al cual se enfrenta, influenciado con factores, como la ejercida por tipos de usos del suelo, deforestación y edificaciones.

A pesar de que los análisis estadísticos realizados con el test Chi-cuadrado no evidenciaron asociaciones significativas entre las variables (percepción térmica, causas atribuidas y estrategias frente al calor), el trabajo de campo permitió constatar una sensibilidad generalizada respecto a la problemática del calor urbano, en particular en las zonas centrales de la ciudad.

Este resultado adquiere relevancia al considerar que, como señala Capelli et al. (2005), los entornos urbanos actúan como acumuladores térmicos, generando alteraciones sensibles en la experiencia cotidiana del espacio. La población, aun sin contar con herramientas técnicas, percibe esta transformación en su calidad de vida, lo que evidencia una brecha entre la vivencia del fenómeno térmico y las estrategias institucionales de respuesta. Como señala Belkis Cartay (2004), una buena calidad ambiental urbana no depende únicamente de las condiciones físicas del entorno, sino también de la manera en que los usuarios lo perciben, interpretan y habitan.

Por lo tanto, el enfoque cualitativo y territorial adoptado en este trabajo aporta elementos valiosos para la planificación urbana, ya que permite incorporar la percepción ciudadana como insumo clave en las estrategias de adaptación al cambio climático. Más aún, confirma que la planificación ambiental no debe limitarse al análisis técnico, sino que requiere construirse también desde las voces de quienes habitan y experimentan cotidianamente los efectos del calor urbano.

## **Capítulo 6:**

**Sugerencias y aportes.**

## **Capítulo 6: Ecópolis sustentable, propuesta de contenido desde la educación ambiental**

### **6.a Introducción**

Este capítulo propone una serie de lineamientos conceptuales y pedagógicos orientados a fortalecer la educación ambiental desde una perspectiva territorial y climática, a partir de los resultados obtenidos en la investigación sobre el discomfort térmico urbano y el fenómeno de isla de calor en San Fernando del Valle de Catamarca. En tal sentido, se propone una estrategia educativa centrada en el concepto de "Ecópolis", entendida como una herramienta didáctica y de acción socioambiental para una ciudad intermedia en contexto semiárido.

### **6.b Fundamentación conceptual: de la isla de calor a la ecópolis**

Las ciudades intermedias del noroeste argentino, como Catamarca, enfrentan una creciente vulnerabilidad climática debido a la combinación de factores antrópicos, escasez hídrica, deforestación y cambios en el uso del suelo. Como se ha demostrado en los capítulos anteriores, la intensificación del efecto de isla de calor urbana (ICU) es un emergente del modelo de urbanización vigente (Oke, 1992; Ferrelli et al., 2017). La Ecópolis se presenta como una alternativa sustentable para pensar y actuar sobre la ciudad, integrando conocimiento científico, tecnología apropiada y conciencia ambiental.

El concepto de Ecópolis surge como una reacción crítica a las lógicas urbanas tradicionales. Retoma principios del ecourbanismo, la ecología urbana y la justicia ambiental. Como señala Newman (2006), el impacto ambiental de las ciudades debe ser analizado en función del metabolismo urbano y su capacidad de regeneración. Esta perspectiva enfatiza la necesidad de reducir la emisión de gases de efecto invernadero, fomentar la eficiencia energética y recuperar espacios verdes, particularmente en zonas centrales de alta densidad.

### **6.c Objetivos de la propuesta educativa**

- Generar conciencia sobre el impacto del urbanismo desregulado en el

microclima urbano.

- Promover prácticas educativas críticas, interdisciplinarias y situadas territorialmente.
- Integrar los conocimientos sobre confort térmico, calidad ambiental y sustentabilidad urbana en los niveles educativos.
- Favorecer una ciudadanía ambientalmente comprometida con el cuidado del entorno.

#### **6.d Ejes temáticos para el diseño de contenidos**

A partir de los hallazgos de esta tesis, se identifican cinco ejes centrales para construir propuestas educativas:

1. Ecociudades y urbanismo sustentable: Definiciones, características y experiencias comparadas. (Ver Polimeni, 2000; Stewart et al., 2021).
2. Climatología urbana y confort térmico: Impactos de la ICU en la salud, el bienestar y el paisaje urbano. (Ferrelli et al., 2017; Ramborger et al., 2018).
3. Cartografía ambiental participativa: Uso de mapas térmicos, NDVI y herramientas SIG para la educación geográfica.
4. Naturaleza en la ciudad: Servicios ecosistémicos, arbolado urbano, infraestructura verde.
5. Acciones de mitigación y adaptación: Desde el diseño urbano bioclimático hasta las tecnologías limpias.

#### **6.e Estrategias pedagógicas sugeridas**

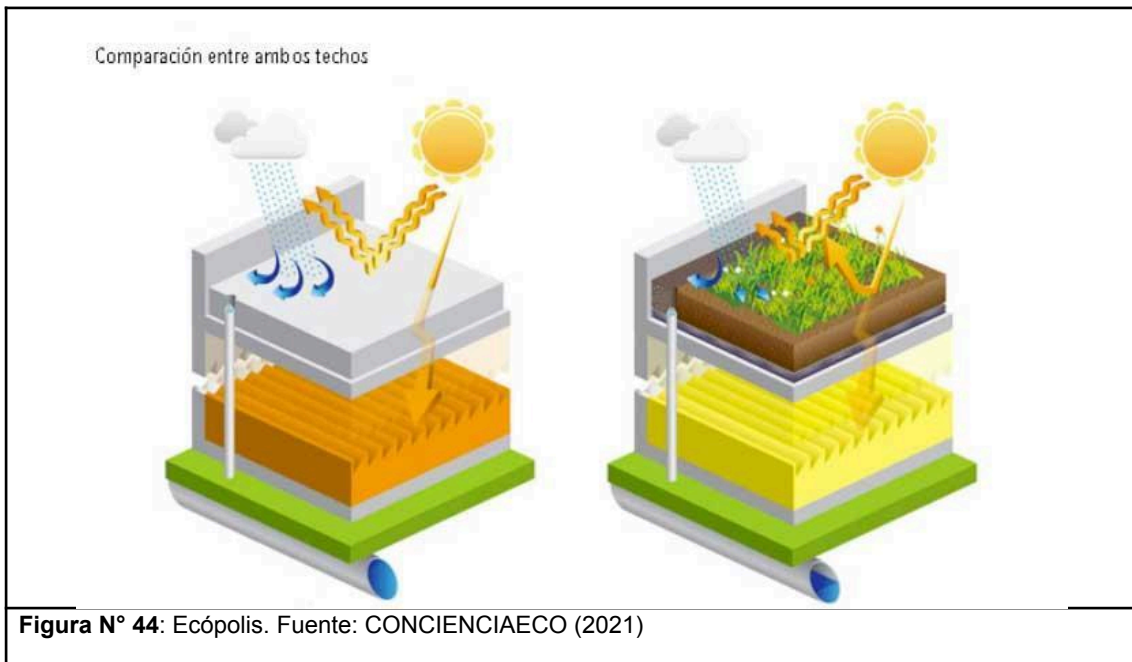
- Proyectos escolares integradores: Huertas urbanas, monitoreo del confort térmico, forestación barrial.
- Aulas abiertas: Salidas de campo para relevar microclimas urbanos y realizar actividades de mapeo colectivo.
- Educación STEAM y ambiental: Articulación de saberes científicos, tecnológicos y sociales.
- Talleres de co-diseño urbano: Propuestas de transformación local elaboradas



por estudiantes.

## 6.f Conclusiones del capítulo

Esta propuesta busca revalorizar la educación ambiental como estrategia de transformación social y territorial, en respuesta a los diagnósticos construidos en la presente investigación. El enfoque de la Ecópolis invita a concebir la ciudad no solo como objeto de intervención técnica, sino como espacio vivencial, sensible y colectivo. Resulta urgente incluir estos contenidos en la formación educativa, desde una perspectiva situada, interdisciplinaria y comprometida con la sustentabilidad del hábitat urbano.



## **Capítulo 7:**

### **Conclusiones**

Las evidencias de esta investigación confirman plenamente la hipótesis inicial, demostrando que el fenómeno de isla de calor urbana (ICU) en San Fernando del Valle de Catamarca se debe a múltiples factores interconectados. La expansión urbana acelerada (125% en 30 años) ha transformado drásticamente el paisaje, con un incremento en superficies impermeables (65.56 km<sup>2</sup> en 2019 frente a 35.19 km<sup>2</sup> en 1984) y una reducción de áreas verdes (NDVI mostró un descenso del 30% en cobertura vegetal entre 1986-2024). Estos cambios, sumados al uso de materiales de bajo albedo ( $<0.2$ ) y una geometría urbana desfavorable (relación H/W  $>0.7$  en el microcentro), explican las marcadas diferencias térmicas registradas, que alcanzaron hasta 7.2°C en verano según mediciones con sondas térmicas y datos satelitales (Landsat 8). La encuesta aplicada a 240 personas reveló que el 95.8% de la población percibe un aumento en las temperaturas urbanas, asociándolo al cambio climático, aunque solo el 32% identifica correctamente las causas locales del fenómeno, como la falta de vegetación o los materiales de construcción.

El análisis mediante índices especializados (NDBI, Ghm, Humidex y ZLC) permitió caracterizar con precisión el impacto de la urbanización en el clima local. El NDBI detectó un aumento del 40% en áreas edificadas entre 1975-2020, mientras que el índice Humidex confirmó niveles de discomfort "altos" a "extremadamente altos" (valores  $>45$ ) en el microcentro durante el 78% de los días de verano. La encuesta también destacó que el 68.3% de los residentes depende del aire acondicionado para mitigar el calor, lo que agrava el problema al incrementar el calor antropogénico. Pese a la existencia de planes como el Forestal 2030, el 70% de los encuestados desconocía estas iniciativas, y se documentó un 15% de pérdida de plantines por vandalismo, reflejando la necesidad de mayor educación ambiental y participación comunitaria.

Esta investigación evidencia que abordar la ICU requiere estrategias integrales que combinen soluciones técnicas (ej. aumentar el albedo urbano al 0.5, incrementar la cobertura vegetal al 20%) con políticas públicas inclusivas. La propuesta de ecópolis sustentable, que integra infraestructura verde y diseño bioclimático, surge como un modelo viable, pero su éxito dependerá de superar brechas institucionales y sociales. Los datos revelan desigualdades claras: los barrios con menor vegetación ( $NDVI < 0.2$ ) coinciden con menores ingresos, lo que exige acciones focalizadas. Aunque las limitaciones en series climáticas largas (falta de datos oficiales continuos) fueron suplidas con herramientas como Google Earth Engine, se recomienda implementar un sistema de monitoreo permanente. En síntesis, el estudio no solo valida científicamente el impacto de la ICU en ciudades semiáridas, sino que también proporciona un marco metodológico replicable y subraya la urgencia de actuar con una visión sistémica, donde el conocimiento técnico y la voz ciudadana guíen la transformación hacia urbes más resilientes y justas.

## **Bibliografía**

- ÁLVAREZ PALAU, E. (2012). La colonización del Alto Valle del Río Negro (Neuquén) en Argentina: ferrocarril, obras hidráulicas y electricidad y consolidar del poblamiento. *Simposio internacional globalización, innovación y construcción de redes técnicas urbanas en América y Europa, 1890-1930* (págs. 1-20). Brazilian Traction, Barcelona Traction y otros conglomerados financieros y técnicos.
- AMORÍM, J. (29 de Junio de 2020). *Día Internacional de la Salud: desafíos en medio de la pandemia mundial del COVID-19*. Obtenido de La Vía Campesina. Movimiento Campesino Internacional: <https://viacampesina.org/es/dia-internacional-de-la-salud-desafios-en-medio-de-la-pandemia-mundial-del-covid-19/>
- BALLING & HUGHES (2015). Influencias urbanas en las tendencias de Tº sudafricanas, *International Journal of Climate*, 16, 935.
- B. GÜNERALP , M. REBA , BU HALES , EA WENTZ , KC SETO. Tendencias en la expansión, densidad y transiciones del suelo urbano de 1970 a 2010: una síntesis global.-
- CAPELLI DE STEFFENS, ALICIA E AT (2006) Clima urbano de Bahía Blanca. *Rev. Univ.Geogr.* vol.15 no.1 Bahía Blanca. Argentina. 2-4 pp.
- CHIOZZA, E. (1958). La Argentina Suma de Geografía. Tomo II - Clima. Editorial Peuser. Buenos Aires.
- COMMONS WIKIMEDIA ORG (2024) El Sensor Termistor de temperatura. Disponible en: <https://www.etsist.upm.es/estaticos/ingeniatic/index.php/tecnologias/item/629termistor.html#:~:text=El%20termistor%20fue%20inventado%20en,proviene%20de%20Thermally%20Sensitive%20Resistor.>

CORREA, E. N., RUIZ, M. A., & CANTÓN, M. A. (2015). \*Urban heat island and thermal comfort in Mendoza, Argentina: A combined approach with satellite data and field surveys\*. Revista de Climatología, 15, 1-15.  
<http://www.revistadeclimatologia.es/>

CURTIS ET AL. (1999). Efectos de la Isla Urbana de Calor en Fairbanks, Alaska. Theoretical Applied. Climatology. Sebastian Wypych, Anita Bokwa, Jagiellonian (2004) "Efecto isla de calor" University, Cracovia, Polonia ([www.urbanheatislands.com](http://www.urbanheatislands.com))

DALLA LASTA, L. (1982) "El gobierno de Urbano Girardi en Catamarca (1928-1930)", UNCa, 1982, Tesis de Licenciatura en Historia.

DEMUZERE M.; KITTNER J.; MARTILLI A.; MOLINOS, G.; MOEDE, C.; STEWART, IDENTIFICACIÓN; VAN VLIET, J.; BECHTEL, B. (2022) Mapa global de zonas climáticas locales para respaldar el modelado del sistema terrestre y la ciencia ambiental a escala urbana. Datos científicos del sistema terrestre 2022, 14 Volumen 8: 3835-3873. doi:10.5194/essd-14-3835-2022

ESPECHE, A ET ALL (2017). Origen y crecimiento de la Ciudad Capital de Catamarca. Aportes Científicos desde Humanidades. Número 12. Volumen 1. ISSN 2545-8272 pp. 58-68.

FERREYRA A. – VIVAS A. M. (2013) Importancia del Servicio meteorológico urbano (UNCa) en el conocimiento del clima de San Fernando del Valle de Catamarca. Revista Biología en Agronomía. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCa.

FERRELLI, FEDERICO ET AL. (2017) Estudio del confort climático a escala micro-local. El caso de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina). Revista Bitácora Urbano Territorial (2017), 27 (3): 91.



- HONG (2016) «7 things you probably didn't know about the Humidex». *TheStar.com*. The Star. Consultado el 23 de septiembre de 2023.
- KENNEDY, C.M., J.R. OAKLEAF, D.M. THEOBALD, S. BAURCH-MURDO Y J. KIESECKER. (2019). Gestión el medio: Un cambio en las prioridades de conservación basado en el gradiente global de modificación humana. *Biología del Cambio Global* 00:1-16. doi:10.1111/gcb.14549
- LI, ZL, WU, H., DUAN, SB, ZHAO, W., REN, H., LIU, X., ... Y ZHOU, C. (2023). Teledetección satelital de la temperatura de la superficie terrestre global: definición, métodos, productos y aplicaciones. *Reseñas de Geofísica* , 61 (1), e2022RG000777.
- MERCADO MALDONADO, L. (2022). Mitigación y adaptación al efecto de isla de calor urbana de clima cálido seco: El caso de Hermosillo, Sonora. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, (11), 85–110. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.187>
- MOTOR DE CLIMA. (2024) Instituto de Investigación del Desierto y Universidad de California, Merced. Consultado el (20/06/2024). <http://climateengine.org>, versión 2.1.
- NEWMAN, P. (2006). The environmental impact of cities. *Environment and Urbanization*, 18(2), 275-295.
- NICOLINI, A. (1997). Catamarca 1558- 1955. Documento de Arquitectura Nacional y Americana D.N.A. 76. N° 4. Chaco: Dirección de impresiones Universitaria del Noroeste Resistencia. pp. 9-33
- OKE, T.R. (1973) "City size and the urban heat island" en *Atmospheric Environment*, 7. pp.769- 779.
- OKE, T. R. (1992) *Boundary Layer Climates*. Methuen & Ltd. Press. Londres. 372 pp.

PALACIOS, F. R. (1988). Proceso de Conformación Urbana, Arquitectónica y Paisajística de San Fernando del Valle de Catamarca. Catamarca Argentina (Inédito).

POLIMENI, C. M. (2000) Condiciones climáticas y microclimáticas del Gran Mendoza. Identificación y génesis de la isla de calor urbana. Análisis termo-fisiológico. Tesis doctoral en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo. 193 pp.

PICONE, N. et All (2012)- "Variaciones estacionales de la isla térmica en la ciudad de Tandil". IX JORNADAS NACIONALES DE GEOGRAFIA FISICA. BAHIA BLANCA, 19 al 21 de abril de 2012 99-106 pp ISBN 978-987-1648-32-0.

PICONE, N. (2015)- "La utilización de imágenes satelitales en Geografía Física: un aporte para el estudio del clima urbano en la ciudad de Tandil". Centro de Investigaciones Geográficas CIG,IGEHCs,FCH,CONICET/UNCPBA - ISBN 978-950-658-346-0.

PICONE, N. (2023)- "Metodología SIG para el cálculo de zonas climáticas locales". Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Centro Científico Tecnológico Conicet - Tandil. Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales; Argentina.

PULIAFITO, SALVADOR ENRIQUE; BOCHACA, FABIAN ROLANDO; ALLENDE, DAVID GABRIEL (2013); Mitigación de la isla de calor urbana en ciudades de zonas áridas; Universidad Tecnológica Nacional; Proyecciones; 11; 2; 11-2013; 29-45

RAMBORGER, M. A., CAMPO, A. Y LORDA, M. A. (2018). Confort climático del sector norte y sur de la ciudad de Bahía Blanca. Geograficando 14 (1), e037.

ROMERO ARAVENA (2021) Islas, ondas de calor y concentración de contaminación atmosférica como indicadores de segregación socio-ambiental. Ejemplo de Santiago de Chile. In book: Acercamientos multidiscplinarios a experiencias de segregación, migración y marginación en contextos latinoamericanos (pp.199-230)- Publisher: Universidad de Guanajuato, México

RUIZ, M. A., CORREA E.N. (2009). Confort climático en espacios abiertos. Comparación de modelos y Aplicabilidad en ciudades de regiones áridas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 13, 2009. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

SHIANG-YU WANG, HSING-YU OU, PING-CHUN CHEN, TZU-PING LIN (2023) Implementing policies to mitigate urban heat islands: Analyzing urban development factors with an innovative machine learning approach, Urban Climate, Volume 55, 2024, 101868, ISSN 2212-0955.

STEWART, I. D., KRAYENHOFF, E. S., VOOGT, J. A., LACHAPELLE, J. A., ALLEN, M. A., & BROADBENT, A. M. (2021). Time evolution of the surface urban heat island. Earth's Future, 9, e2021EF002178. <https://doi.org/10.1029/2021EF002178>.

Therán, K., Rodríguez, L., Mouthon, S. y Manjarres, J. (2019). Microclima y Confort Térmico Urbano, MODULO ARQUITECTURA CUC, vol. 23, no. 1, pp. 49-88, 2019. DOI: <http://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.23.1.2019.04>.

TOBIAS L. Et Al (2023) , Quantifying urban heat exposure at fine scale - modeling outdoor and indoor temperatures using citizen science and VHR remote sensing, Urban Climate, Volume 49, 2023, 101522, ISSN 2212-0955, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101522>.

ULLAH, S., ALDOSSARY, A., ULLAH, W. ET AL. AUGMENTED HUMAN  
THERMAL DISCOMFORT IN URBAN CENTERS OF THE ARABIAN  
PENINSULA. SCI REP 14, 3974 (2024).

<https://doi.org/10.1038/s41598-024-54766-7>

VENTUSKY, S.R.O. (2024) Kotíkovská 1268/75 Pilsen, República Checa 323  
00, [info@ventusky.com](mailto:info@ventusky.com). Consultado el 23/6/2024.

WANG MENGXIN ET AL (2024), Gaussian Mixture Model based classification  
for analyzing longitudinal outdoor thermal environment data to evaluate  
comfort conditions in urban open spaces, Urban Climate, Volume 53,  
2024, 101792, ISSN 2212-0955,  
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101792>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095523003863>)

W. SIRKO, S. KASHUBIN, M. RITTER, A. ANNKAH, YSE BOUCHAREB, Y.  
DAUPHIN, D. KEYSERS, M. NEUMANN, M. CISSE, JA QUINN.(2021)  
Detección de edificios a escala continental a partir de imágenes  
satelitales de alta resolución. arXiv:2107.12283.

---

**ANEXO 1.a**

**(MUESTREO DE MEDICIONES)**

---

**MUESTREOS DE MEDICIONES /CÁLCULO DE INDICES (Temperatura °C a 2m) Comparaciones con datos oficiales.**

| <b>FECHA Y HORA</b>    | <b>T1 LUGAR DE MEDICIÓN:<br/>BARRIO MALVINAS<br/>ARGENTINAS - URBANA (LAT.S<br/>-28,28 / LONG.W -65,59)</b> | <b>T2 LUGAR DE MEDICIÓN:<br/>AEROPUERTO FELIPE VARELA<br/>-OFICIAL (RURAL)- (LAT.S -28,59<br/>/ LONG.W -65,59)</b> | <b>T3 LUGAR DE<br/>MEDICIÓN: USINA-<br/>URBANA (LAT.S -28,47 /<br/>LONG.W -65,76)</b> | <b>DIFERENCIA T ecuación delta<br/>(DELTA / ΔT = T2 - T1)<br/>(DELTA II ΔT = T2 - T3)</b> |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 09/02/24 - 17:45 hs.   | 34.1                                                                                                        | 33.6                                                                                                               | -                                                                                     | <b>DELTA / ΔT = + 0.7</b>                                                                 |
| 09/02/24 - 17:50 hs.   | 33.5                                                                                                        | 32.9                                                                                                               | -                                                                                     | <b>DELTA / ΔT = + 0.6</b>                                                                 |
| 09/02/24 - 22:16 hs.   | 30.8                                                                                                        | 29.8                                                                                                               | -                                                                                     | <b>DELTA / ΔT = + 1.0</b>                                                                 |
| 10/02/24 - 00:30 hs.   | 29.9                                                                                                        | 28.6                                                                                                               | -                                                                                     | <b>DELTA / ΔT = + 1.3</b>                                                                 |
| 10/02/24 - 10:20 hs.   | 34.1                                                                                                        | 30.8                                                                                                               | -                                                                                     | <b>DELTA / ΔT = + 3.3</b>                                                                 |
| 20/03/24 - 10:25 hs.   | 31.8                                                                                                        | 32.1                                                                                                               | -                                                                                     | <b>DELTA / ΔT = - 0.3</b>                                                                 |
| 05/02/24 - 12:14 hs.   | 34.5                                                                                                        | 34.4                                                                                                               | -                                                                                     | <b>DELTA / ΔT = + 0.1</b>                                                                 |
| 12/02/24 - 12:55 hs.   | 34.3                                                                                                        | 34.4                                                                                                               | -                                                                                     | <b>DELTA / ΔT = - 0.1</b>                                                                 |
| 16/02/24 - 14:47 hs.   | 35.1                                                                                                        | 34.6                                                                                                               | -                                                                                     | <b>DELTA / ΔT = + 0.5</b>                                                                 |
| 17/02/24 - 15:24 hs.   | 36.1                                                                                                        | 35.4                                                                                                               | -                                                                                     | <b>DELTA / ΔT = + 0.7</b>                                                                 |
| 18/02/24 - 16:11 hs.   | 35.9                                                                                                        | 34.9                                                                                                               | -                                                                                     | <b>DELTA / ΔT = + 1.0</b>                                                                 |
| 19/02/24 - 17:45 hs. - | 34.9                                                                                                        | 34.6                                                                                                               | -                                                                                     | <b>DELTA / ΔT = + 0.3</b>                                                                 |
| 17/12/23 - 09:00 hs.   | 38.9                                                                                                        | 35.4                                                                                                               | -                                                                                     | <b>DELTA / ΔT = + 3.1</b>                                                                 |
| 12/12/23 - 21:00 hs    | 33.5                                                                                                        | 30.4                                                                                                               |                                                                                       | <b>DELTA / ΔT = + 3.1</b>                                                                 |



| <b>FECHA Y HORA</b>  | <b>LUGAR DE MEDICIÓN: BARRIO MALVINAS ARGENTINAS - URBANA (LAT.S -28,28 / LONG.W -65,59)</b> | <b>LUGAR DE MEDICIÓN: AEROPUERTO FELIPE VARELA -OFICIAL (RURAL)- (LAT.S -28,59 / LONG.W -65,59)</b> | <b>LUGAR DE MEDICIÓN- CALLE REPUBLICA Y SALTA (LAT.S -28,17 / LONG.W -65,55)</b> | <b>DIFERENCIA<br/>(DELTA I ΔT = T1 - T2)<br/>(DELTA II ΔT = T2 - T3)</b> |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 11/02/24 - 00:35 hs. | 31.4                                                                                         | 31.5                                                                                                | -                                                                                | <b>DELTA I ΔT = - 0.1</b>                                                |
| 11/02/24 - 09:30 hs. | 29.5                                                                                         | 28.6                                                                                                | -                                                                                | <b>DELTA I ΔT = + 0.9</b>                                                |
| 11/02/24 - 10:00 hs. | 31.2                                                                                         | 31.6                                                                                                | -                                                                                | <b>DELTA I ΔT = - 0.4</b>                                                |
| 11/02/24 - 10:55 hs. | <b>39.5</b>                                                                                  | 33.3                                                                                                | -                                                                                | <b>DELTA I ΔT = + 6.2</b>                                                |
| 11/02/24 - 11:26 hs. | 35.6                                                                                         | 34.8                                                                                                | -                                                                                | <b>DELTA I ΔT = + 0.7</b>                                                |
| 11/02/24 - 13:40 hs. | 36.3                                                                                         | 36.6                                                                                                | -                                                                                | <b>DELTA I ΔT = - 0.3</b>                                                |
| 11/02/24 - 14:30 hs. | 36.4                                                                                         | 36.7                                                                                                | -                                                                                | <b>DELTA I ΔT = - 0.3</b>                                                |
| 12/02/24 - 08:00 hs. | 30.0                                                                                         | 30.0                                                                                                | -                                                                                | <b>DELTA I ΔT = + 1.5</b>                                                |
| 15/02/24 - 13:05 hs. | -                                                                                            | 29.8                                                                                                | 31.9                                                                             | <b>DELTA II ΔT = + 2.1</b>                                               |
| 15/02/24 - 13:05 hs. | -                                                                                            | 29.8                                                                                                | 31.9                                                                             | <b>DELTA II ΔT = + 2.1</b>                                               |
| 31/01/24 - 21:00 hs. | -                                                                                            | 31.7                                                                                                | 35.9                                                                             | <b>DELTA II ΔT = +4.2</b>                                                |
| 25/01/24 - 10:00 hs. | -                                                                                            | 29.9                                                                                                | 36.7                                                                             | <b>DELTA II ΔT = + 5.8</b>                                               |

Cálculo del Índice de Temperatura y Humedad (THI) para cada hora, (ejemplo día 15 de enero 2025):

$$THI = T - 0.55 \times (1 - 0.01 \times HR) \times (T - 14.5)$$

Donde:

- $T$  es la temperatura en °C,
- $HR$  es la humedad relativa en %.

Para evaluar el nivel de confort térmico durante el 15 de enero de 2025, se aplicó el Índice de Temperatura y Humedad (THI), desarrollado por E.C. Thom en 1959, el cual combina la temperatura del aire y la humedad relativa para estimar la sensación térmica en humanos. La fórmula utilizada fue:  $THI = T - 0.55 \times (1 - 0.01 \times HR) \times (T - 14.5)$ , donde  $T$  representa la temperatura en grados Celsius y  $HR$  la humedad relativa en porcentaje (Thom, 1959). A partir de los datos horarios extraídos de los registros sinópticos del Servicio Meteorológico Nacional y valores medidos en sondas termohigrométricas, se calcularon los valores de **THI** para cada hora del día, detectándose condiciones de estrés térmico entre las 07:00 y las 20:00 horas locales, con picos superiores a 37 en horas vespertinas. Este

resultado refleja una exposición prolongada al calor con bajo contenido de humedad, lo cual incrementa el riesgo de disconfort térmico y posibles efectos sobre la salud en la población.

### Índice THI por hora – 15/01/2025

| Hora UTC | Temp (°C) | HR (%) | THI   | Interpretación                    |
|----------|-----------|--------|-------|-----------------------------------|
| 00Z      | 33.6      | 29%    | 31.08 | Estrés térmico                    |
| 01Z      | 32.2      | 33%    | 29.66 | Estrés térmico                    |
| 02Z      | 28.6      | 37%    | 26.45 | <b>Límite superior de confort</b> |
| 03Z      | 27.8      | 36%    | 25.78 | Confort                           |
| 04Z      | 26.8      | 37%    | 24.85 | Confort                           |

|     |      |     |       |                     |
|-----|------|-----|-------|---------------------|
| 05Z | 26.6 | 39% | 24.65 | Confort             |
| 06Z | 26.6 | 39% | 24.65 | Confort             |
| 07Z | 26.3 | 38% | 24.44 | Confort             |
| 08Z | 26.1 | 37% | 24.27 | Confort             |
| 09Z | 26.6 | 36% | 24.74 | Confort             |
| 10Z | 28.7 | 33% | 26.81 | Estrés térmico leve |
| 11Z | 27.5 | 37% | 25.43 | Confort             |
| 12Z | 29.4 | 35% | 27.33 | Estrés térmico      |
| 13Z | 34.0 | 25% | 31.89 | Estrés térmico      |

|     |      |     |       |                |
|-----|------|-----|-------|----------------|
| 14Z | 35.8 | 26% | 33.58 | Estrés térmico |
|-----|------|-----|-------|----------------|

|     |      |     |       |                |
|-----|------|-----|-------|----------------|
| 15Z | 37.6 | 21% | 35.52 | Estrés térmico |
|-----|------|-----|-------|----------------|