



**Metodología a partir del análisis geoespacial para determinar islas de calor en
zonas urbanas caso real de minas.
Proyecto de Investigación**

Fernando Cosme Cruz
C.C. 1095820696
Andrey Mauricio Tarazona Pineda
C.C. 1005083480

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Ciencias Naturales
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga marzo 5 de 2026



**Metodología a partir del análisis geoespacial para determinar islas de calor en
zonas urbanas caso real de minas.
Proyecto de Investigación**

Fernando Cosme Cruz
C.C. 1095820696
Andrey Mauricio Tarazona Pineda
C.C. 1005083480

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Topógrafo**

DIRECTOR
Clara Inés Torres Vásquez

Grupo de investigación – GRIMAT

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Ciencias Naturales
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga marzo 5 de 2026

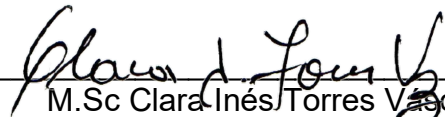
Nota de Aceptación

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por
Las Unidades Tecnológicas de Santander para optar al título
de Ingeniero Topógrafo
Según acta #6 del Comité de Proyectos de Grado
Del 13 de marzo de 2026

Docente evaluador: M.Sc. Héctor Alfonso Correa Rangel
Docente directora: M.Sc Clara Inés Torres Vásquez



M.Sc Héctor Alfonso Correa Rangel
Firma del Evaluador



M.Sc Clara Inés Torres Vásquez
Firma del Director

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, por su apoyo incondicional, paciencia y acompañamiento constante a lo largo de este proceso académico. De igual manera, damos gracias a quienes, con su ejemplo y legado, sembraron en nosotros el interés por la topografía y la ingeniería, orientando nuestro crecimiento personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

Manifestamos nuestro sincero agradecimiento a la profesora Clara Inés Torres Vásquez, directora del proyecto e integrante del grupo de investigación GRIMAT de las Unidades Tecnológicas de Santander, por su acompañamiento permanente, dedicación, orientación técnica y valiosos aportes, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo de grado.

De igual forma, reconocemos el respaldo brindado por las Unidades Tecnológicas de Santander, en especial por la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, cuyo apoyo institucional resultó clave en la ejecución de este proyecto, suministrándonos material necesario para el desarrollo del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	11
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN.....	14
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2. JUSTIFICACIÓN	17
1.3. OBJETIVOS	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	19
2. MARCO REFERENCIAL	28
2.1. MARCO TEORICO.....	28
2.2. MARCO AMBIENTAL.....	29
2.3. MARCO LEGAL	32
MARCO NORMATIVO COLOMBIANO APLICABLE AL PROYECTO	32
2.4. MARCO CONCEPTUAL	35
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	39
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....	42
4.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA.....	45
4.2. MÉTODOS	48
4.2.1. MÉTODO IDW (INTERPOLACIÓN MEDIANTE DISTANCIA INVERSA).....	48
4.2.2. MÉTODO DE MAPA DE CALOR (ESTIMACIÓN DE DENSIDAD KERNEL)	48
4.2.3. MÉTODO HOTS SPOT (PUNTOS CALIENTES)	49
5. RESULTADOS.....	50
5.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS.....	50
5.1.1. MALLA DE DATOS.....	50

5.1.2.	DIRECCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS.	51
5.1.3.	GRÁFICO DE PROBABILIDAD NORMAL (Q-Q PLOT).	52
5.1.4.	TEMPERATURA EN LA MALLA.	53
5.1.5.	HISTOGRAMA.....	54
5.1.6.	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL	55
5.1.7.	MEDIDAS DE DISPERSIÓN	55
5.1.8.	VECINO MÁS CERCANO.	56
5.1.9.	VORONOI.....	57
5.1.10.	TREND ANALYSIS (ANÁLISIS DE TENDENCIA).....	58
5.2.	MÉTODOS IDW, KERNEL Y HOTSPOT.....	59
5.3.	COMPARACIÓN DE MÉTODOS	80
5.4.	ANÁLISIS AÉREO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	83
5.5.	METODOLOGÍA PARA DISEÑAR ISLAS DE CALOR	86
<u>6.</u>	<u>CONCLUSIONES.....</u>	<u>88</u>
<u>7.</u>	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>89</u>
<u>8.</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>90</u>
<u>9.</u>	<u>ANEXOS.....</u>	<u>97</u>

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1 El proyecto se divide en tres fases.....	41
Ilustración 2 Esri Land Cover	43
Ilustración 3 Esri Land Cover	44
Ilustración 4 Shape Zona de Estudio	45
Ilustración 5 Zona De Estudio Real De Minas	46
Ilustración 6 Malla de datos.....	50
Ilustración 7 Dirección de la distribución de los datos.	51
Ilustración 8 Gráfico de Probabilidad Normal (Q-Q Plot).....	52
Ilustración 9 Temperatura en la malla.....	53
Ilustración 10 Temperatura en la malla.....	53
Ilustración 11 Histograma.....	54
Ilustración 12 Datos de la Distribución.....	55
Ilustración 13 Vecino más cercano.	56
Ilustración 14 Datos vecino más cercano.	56
Ilustración 15 Mapa de Voronoi.	57
Ilustración 16 Trend analysis (análisis de tendencia).....	58
Ilustración 17 Método IDW Promedio de Temperatura	59
Ilustración 18 Estimación de núcleos (método Kernel) Promedio de Temperatura.....	60
Ilustración 19 Método de HotSpots Promedio de Temperatura	61
Ilustración 20 Método IDW Día 1 (Temperatura entre 25°C y 27°C)	62
Ilustración 21 Estimación de núcleos (método Kernel) Día 1 (Temperatura entre 25°C y 27°C).....	63
Ilustración 22 Método IDW Día 2 (Temperatura entre 25°C y 26°C)	64
Ilustración 23 Método IDW Día 3 (Temperatura entre 25°C y 27°C)	65
Ilustración 24 Estimación de núcleos (método Kernel) Día 3 (Temperatura entre 25°C y 27°C).....	66
Ilustración 25 Método IDW Día 4 (Temperatura entre 28°C y 30°C)	67
Ilustración 26 Método IDW Día 5 (Temperatura entre 25°C y 27°C)	68
Ilustración 27 Estimación de núcleos (método Kernel) Día 5 (Temperatura entre 25°C y 27°C).....	69
Ilustración 28 Método IDW Día 6 (Temperatura entre 26°C y 29°C)	70
Ilustración 29 Método IDW Día 7 (Temperatura entre 26°C y 28°C)	71
Ilustración 30 Estimación de núcleos (método Kernel) Día 7 (Temperatura entre 26°C y 28°C).....	72
Ilustración 31 Método IDW Día 8 (Temperatura entre 26°C y 28°C)	73
Ilustración 32 Método IDW Día 9 (Temperatura entre 25°C y 27°C)	74
Ilustración 33 Método IDW Día 10 (Temperatura entre 22°C y 23°C)	75
Ilustración 34 Estimación de núcleos (método Kernel) Día 10 (Temperatura entre 22°C y 23°C).....	76
Ilustración 35 Método IDW Día 11 (Temperatura entre 24°C y 28°C)	77
Ilustración 36 Método IDW Día 12 (Temperatura entre 25°C y 27°C)	78
Ilustración 37 Estimación de núcleos (método Kernel) Día 12 (Temperatura entre 25°C y 27°C).....	79

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRESARIADO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

Ilustración 38 Método IDW – Método Kernel	80
Ilustración 39 Método IDW – Método HotSpot	81
Ilustración 40 Ortofoto	83
Ilustración 41 Modelo Digital de Terreno.	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Datos Recolectados.....	50
---------------------------------	----

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo tiene como propósito desarrollar una metodología para el análisis de las islas de calor urbanas en el sector de Real de Minas, en la ciudad de Bucaramanga, mediante el uso integrado de técnicas de levantamiento topográfico, métodos de análisis espacial y análisis geoespacial.

Para ello, se emplearon aplicaciones como Termómetro+++ , así como modelos digitales de terreno y productos obtenidos a partir de vuelos con dron, lo que permitió trabajar con datos de alta resolución espacial. De manera complementaria, se realizó un análisis exploratorio que incluyó histogramas, evaluación de tendencias espaciales, análisis de vecino más cercano y generación de diagramas de Voronoi.

Posteriormente, se aplicaron métodos de análisis espacial como la interpolación por distancia inversa (IDW), la densidad Kernel y el análisis de puntos calientes (Hot Spot), con el fin de identificar patrones térmicos y localizar zonas con mayor concentración de temperatura. Los resultados obtenidos evidencian una distribución no uniforme de la temperatura, donde las áreas con mayor densidad constructiva, baja cobertura vegetal y predominio de superficies impermeables presentan valores térmicos más elevados.

En conclusión, la integración de diferentes técnicas geoespaciales permitió obtener resultados coherentes y complementarios, aportando una base sólida para la comprensión del fenómeno y su posible aplicación en procesos de planificación urbana y gestión ambiental.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRESARIADO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

PALABRAS CLAVE. Islas de calor urbano, SIG, interpolación IDW, densidad
Kernel.

ABSTRACT

This study aims to develop a methodology for analyzing urban heat islands in the Real de Minas sector of Bucaramanga, Colombia, using an integrated approach that combines topographic surveying techniques, spatial analysis methods, and geospatial analysis.

To this end, applications such as Thermometer+++ were used, along with digital terrain models and data obtained from drone flights, enabling the use of high-resolution spatial data. Furthermore, an exploratory analysis was conducted, including histograms, spatial trend assessment, nearest neighbor analysis, and the generation of Voronoi diagrams.

Subsequently, spatial analysis methods such as inverse distance interpolation (IDW), kernel density analysis, and hotspot analysis were applied to identify thermal patterns and locate areas with higher temperature concentrations. The results show a non-uniform temperature distribution, with areas exhibiting higher thermal values due to a greater density of buildings, low vegetation cover, and a predominance of impermeable surfaces.

In conclusion, the integration of different geospatial techniques allowed us to obtain coherent and complementary results, providing a solid basis for understanding the phenomenon and its possible application in urban planning and environmental management processes.

KEYWORDS: Urban heat islands, GIS, IDW interpolation, kernel density.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano acelerado ha transformado significativamente la cobertura del suelo en las ciudades, sustituyendo áreas naturales por superficies construidas como concreto, asfalto y estructuras urbanas. Este proceso ha favorecido la aparición del fenómeno conocido como islas de calor urbanas, el cual se manifiesta a través de un incremento de la temperatura en zonas urbanizadas en comparación con áreas circundantes menos intervenidas.

Este fenómeno no solo afecta las condiciones ambientales, sino que también tiene implicaciones en la calidad de vida de la población, el consumo energético y la sostenibilidad de las ciudades. Diversos estudios han demostrado que factores como la densidad de construcción, la reducción de áreas verdes y la configuración del espacio urbano influyen directamente en la distribución de la temperatura.

En este contexto, el presente estudio se enfoca en el sector de Real de Minas, en Bucaramanga, una zona con características urbanas que permiten analizar este fenómeno debido a su densidad constructiva y variabilidad en la cobertura del suelo. Para ello, se propone una metodología basada en el uso de herramientas de teledetección, cartografía digital y Sistemas de Información Geográfica.

La metodología integra información proveniente de imágenes satelitales, modelos digitales de elevación y levantamientos con dron, junto con la aplicación de técnicas de análisis espacial como la interpolación IDW, la densidad Kernel y el análisis de puntos calientes. Este enfoque permite no solo identificar zonas con mayor concentración térmica, sino también comprender la relación entre la estructura urbana y la distribución espacial de la temperatura.

De esta manera, el trabajo contribuye al análisis del fenómeno de las islas de calor urbanas, ofreciendo una herramienta útil para la toma de decisiones en procesos de planificación territorial y gestión ambiental.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas, el crecimiento acelerado de las ciudades y la transformación de su cobertura natural en superficies impermeables (asfalto, concreto, techos metálicos) han intensificado el fenómeno conocido como isla de calor urbana (ICU). Este se caracteriza por un aumento significativo de la temperatura en áreas urbanizadas en comparación con sus zonas rurales o periurbanas circundantes. Las islas de calor generan efectos adversos sobre la salud pública, incrementan el consumo energético por refrigeración y deterioran la calidad del aire, afectando directamente la calidad de vida de los habitantes.

Entre las causas principales se encuentran la reducción de áreas verdes, la alta densidad de edificaciones, la acumulación de calor en materiales constructivos, el aumento del tráfico vehicular y la emisión de contaminantes. La falta de planificación urbana orientada a mitigar estos efectos y la ausencia de monitoreo térmico continuo agravan el problema, impidiendo la toma de decisiones basadas en datos precisos.

En este contexto, se plantea la necesidad de evaluar espacial y temporalmente las islas de calor en la ciudad, identificando sus áreas críticas y analizando su relación con la cobertura del suelo y las condiciones socioeconómicas, con el fin de proponer estrategias de mitigación sostenibles.

¿Qué metodología es adecuada para realizar un análisis de temperaturas e identificar zonas o islas de calor, a partir de datos campo?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El fenómeno de las islas de calor urbanas representa un desafío creciente para las ciudades, ya que incrementa las temperaturas locales, afectando la salud de la población, elevando el consumo energético y deteriorando la calidad ambiental. Su estudio es fundamental porque permite comprender la relación entre el uso del suelo, la planificación urbana y el bienestar ciudadano, lo que posibilita implementar soluciones basadas en evidencia.

La propuesta busca aportar a la línea de investigación en Gestión Territorial y Medio Ambiente de las UTS, integrando herramientas de teledetección y análisis geoespacial para la identificación y caracterización de las áreas más afectadas. Esto no solo contribuye al avance académico, sino que fortalece las competencias del estudiante en el manejo de tecnologías SIG y análisis térmico.

Resolver esta problemática permitirá diseñar estrategias sostenibles, como la ampliación de áreas verdes, uso de materiales reflectantes y planificación de corredores ecológicos, que mejoren el confort térmico y la resiliencia climática. En términos sociales, reducirá riesgos para poblaciones vulnerables; en lo económico, disminuirá gastos en energía; y en lo ambiental, favorecerá la mitigación del cambio climático a nivel local.

En suma, este trabajo de grado es relevante porque ofrece soluciones prácticas y escalables que pueden ser aplicadas tanto por las administraciones públicas como por el sector privado, generando un impacto positivo duradero en la calidad de vida urbana.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer una metodología para el estudio de zonas de calor urbano a partir de técnicas de correlación espacial, aplicado a la comuna Real de Minas en Bucaramanga que permita la identificación de estas zonas con datos mínimos de temperatura tomados en campo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir la herramienta de toma de datos de temperatura y la distribución de puntos georreferenciados en una zona de Bucaramanga, como insumo para aplicación de la metodología a proponer.
2. Analizar los datos de temperatura obtenidos, mediante correlación IDW, densidad y Hot spot, permitiendo esto, el análisis de la posible isla de calor en la zona de estudio definida, para el caso Real de Minas en Bucaramanga.
3. Definir a partir de la metodología propuesta, si la zona de estudio corresponde o no a una isla de calor, donde se presentan las fases, etapas y técnicas a emplear para este tipo de estudios.

1.4. ESTADO DEL ARTE

ESPAÑA

Temuco es una ciudad localizada en el centro sur de Chile (38° 45' S y 72° 40' W). Morfológicamente, el sitio de la ciudad corresponde a las terrazas fluviales del río Cautín que se desarrollan en forma encajonada entre los cerros Ñielol (350 m) y Conunhueno (360 m). Esta ciudad se ha desarrollado rápidamente en las últimas décadas, por lo tanto, es necesario conocer el efecto antrópico en la misma. Para evaluar parte de ese efecto se analiza la isla de calor urbana estival en la ciudad de Temuco, Chile. Se efectuaron mediciones de temperatura del aire y humedad a través de la ciudad para determinar la forma y la intensidad de la isla de calor urbano. Se utilizaron estaciones móviles e información de una estación meteorológica fija. La ciudad presenta un comportamiento térmico diferente a lo largo del día. Durante el día genera una isla de calor que responde en líneas generales al modelo ideal de calentamiento urbano. La intensidad de la isla calórica (ΔT_{u-r}) fue 6.3 °C y 1.2 °C durante el día y la noche, respectivamente. La influencia de los cerros que limitan la ciudad es importante. El estudio confirma la idea de que el clima urbano de una ciudad es un mosaico de microclimas que interactúan continuamente (Navarrete López, Hernández González, Capelli de Steffens, & Piccolo, 2001).

Este trabajo analiza la isla de calor urbana de Madrid durante julio de 2015. Los registros históricos de temperatura confirman que siguió el patrón de anteriores eventos: número elevado de días muy cálidos, pero sin alcanzar récords absolutos, y noches muy cálidas. El fenómeno de la isla de calor atmosférica estuvo presente casi todas las noches con una notable magnitud (entre 2 y 4 °C); por el contrario, durante las horas diurnas se registró una isla de frescor relativamente suave (< 1 °C). Las imágenes de satélite revelan que el campo térmico superficial experimentó idéntico ciclo diario, estrechamente ligado a los usos del terreno, con la formación

de una isla de calor nocturna de una magnitud similar a la atmosférica, y una isla de frescor diurna igual de potente. La correlación entre la evolución temporal de ambas manifestaciones, al igual que el contraste espacial durante la noche más cálida, revela un comportamiento similar durante las horas nocturnas, lo cual ofrece perspectivas interesantes para la integración de ambas variables en estudios aplicados (Rasilla, Allende Álvarez, & Fernández García, 2016).

ARGENTINA

Se presentan resultados preliminares de un proyecto de investigación bianual (CICITCA-UNSJ 2006-2007) cuyo objetivo final es determinar las formas de correlación entre la Isla de Calor Urbana y los índices urbanísticos de Factor de Ocupación del Suelo y de Densidad Volumétrica, como contribución a la planificación urbana bioclimática. La estadística utilizada corresponde a la obtenida durante el año 2006, registrada por la Unidad Ejecutora por medio de una estación meteorológica fija y mediciones climáticas itinerantes que abarcan todo el ejido urbano del Gran San Juan. Los resultados preliminares demostraron la influencia directa que la ocupación edilicia ejerce sobre la diferencia de temperatura urbana, influencia que se extiende más allá de los límites del ejido urbano, tanto en verano como en invierno, correspondiendo a un aumento de ambos índices urbanísticos, un incremento de la Isla de Calor (Molina & Gamboa, 2008).

Se presentan resultados de un estudio realizado en la ciudad de San Juan para la determinación de la Isla de Calor Urbana (ICU) en invierno y verano, continuando trabajos anteriores que demostraron la viabilidad de utilizar imágenes satelitales Landsat 5 TM+ para la determinación de la temperatura del aire. La información térmica obtenida a partir de dichas imágenes se referenció con datos térmicos del área urbana obtenidos en una estación meteorológica que registra valores horarios. Posteriormente se extrapolaron para trasladar la hora de registro satelital de las

16:00 h (HOA) a las 21:00 h HOA, hora en que la diferencia de temperatura centro-periferia es más representativa de la ICU. Los resultados demostraron una intensidad máxima de la Isla de Calor de 5,0 °C para verano y 4,5 °C para invierno, valores que confirman los obtenidos en proyectos anteriores en los que se utilizaron datos de temperatura obtenidos in situ. Por otra parte, la ICU presenta un patrón morfológico similar al límite urbano, tanto para invierno como para verano, extendiéndose más allá del límite urbano, con magnitudes diferentes según las distintas orientaciones cardinales (Cúnsulo, Kurbán, Papparelli & Montilla, 2013).

MEXICO

El clima de la ciudad de Toluca y del mundo ha sido modificado como consecuencia del crecimiento de su población y el aumento de las dimensiones de su distribución territorial. Las variaciones atmosféricas son más acusadas entre los espacios urbanos y rurales a medida que las ciudades son más grandes y su mancha urbana es más extensa, así como por la reducción de la vegetación, el aumento en la calefacción en casas y edificios y por la contaminación del aire. Para identificar los espacios con calor más intenso por la infraestructura urbana, se propone una metodología que consiste en la determinación de los valores de temperatura que se registraron en dos días típicos de invierno y verano, durante el día y la noche, mostrando la distribución de la isla de calor en la zona de estudio, a partir de los datos de las estaciones de la Red Automática de Monitoreo Ambiental (RAMA). Asimismo, se considera el comportamiento y variación de algunas variables atmosféricas como humedad relativa, precipitación y viento, para mostrar su comportamiento relativamente anómalo en la zona urbana (Morales Méndez, Madrigal Uribe, & González Becerril, 2007).

BRASIL

Esta contribución estima la Intensidad de la Isla de Calor Urbano Superficial (IICUS) durante el período de 2001 a 2016 para las Áreas Metropolitanas de El Cairo (AMC), Johannesburgo (AMJ) y Lagos (AML), localizadas en África. Para cuantificar la IICUS se utilizan dos métodos: el primero, el método gaussiano, y el segundo, el método de los quantis. Ambos métodos emplean datos de medición remota de la temperatura de la superficie (TS) y un producto anual de tipo cobertura en solitario (con una resolución espacial horizontal de $0,05^\circ$ o aproximadamente 5,6 km a lo largo del ecuador), obtenidos a partir del sensor Espectroradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS) a bordo de los satélites TERRA y AQUA de EOS/NASA. Los resultados obtenidos para el método gaussiano muestran que, en el período diurno, la IICUS máxima mensual ocurrió en la AML con $4,82^\circ\text{C}$ y la mínima mensual también en la AML con un valor de $0,01^\circ\text{C}$. En el período nocturno, la máxima mensual fue en la AMC con $4,64^\circ\text{C}$ y la mínima mensual en la AMJ con $1,30^\circ\text{C}$. Para el método de los quantis, la IICUS diurna máxima mensual se encontró en la AML con $5,78^\circ\text{C}$ y la mínima mensual en la AMC con un valor de $-1,56^\circ\text{C}$. En el período nocturno, la IICUS máxima mensual se registró en la AMC con $4,88^\circ\text{C}$ y la mínima mensual en la AML con $2,05^\circ\text{C}$ (Suazo, Rojas, & Karam, 2020).

PERU

La presente contribución estima la Intensidad de Isla de Calor Urbano Superficial (SUHI) durante el periodo 2001–2016 para el Área Metropolitana de Iquitos (AMI), localizado en Perú, en el departamento de Loreto. Para cuantificar la SUHI, se usaron dos métodos: el primero es el de Streutker (2002), que emplea una superficie gaussiana para ajustar la temperatura superficial del suelo (LST) de la superficie urbana y rural; el segundo, propuesto por Flores (2016), utiliza la diferencia entre los cuantiles 0.95 de LST para el área urbana y la mediana del LST para el área

rural. Ambos métodos emplean datos de sensoramiento remoto de LST mensual y producto anual de tipo de cobertura de suelo (Land Cover Type) a 0.05° de resolución, obtenido del sensor MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) a bordo de los satélites TERRA y AQUA. En el AMI, en los periodos diurnos, el SUHI máximo se registra en setiembre (1.51 °C) y el mínimo en mayo (0.91 °C). La SUHI nocturna presenta valores máximos en marzo (0.80 °C) y mínimos en noviembre (-0.51 °C), utilizando el método de cuantiles, ya que debido a la proximidad con el río Amazonas no se ajusta el método de Streutker (Angeles Suazo et al., 2019).

ECUADOR

Bustamante Campoverde (2017) desarrolló un estudio experimental comparando seis cañones urbanos en el centro histórico de Cuenca, con el objetivo de evaluar la influencia de la morfología urbana en la isla de calor urbano (ICU). Se realizaron mediciones in situ de temperatura ambiente y velocidad del viento en distintos días de una semana representativa de altas temperaturas y radiación, comparándolas con registros de la estación rural de Llacao para confirmar la presencia y comportamiento de la ICU en periodos diurnos y nocturnos. Posteriormente, se evaluaron variables morfológicas como la relación alto/ancho (H/W), el sky view factor (SVF), el factor de altura relativa (FHR) y la radiación en superficies horizontales y verticales. Además, se aplicó un análisis de componentes principales considerando los aspectos morfológicos, el índice normalizado diferencial de vegetación (NDVI) y el flujo vehicular en el periodo de 6:00 a 18:00 horas para la ICU diurna. El estudio identificó, por ejemplo, que el cañón de Huayna Cápac, con un ratio de 0.28, un SVF de 0.66 y orientación norte-sur, presentó una diferencia térmica máxima de 2 °C en comparación con el cañón de la calle Presidente Córdova, que posee un ratio de 1.47, un SVF de 0.34 y orientación este-oeste.

El presente estudio analiza el crecimiento de la ciudad de Cuenca desde 1990, identifica las actividades predominantes y la reducción de suelo permeable. Compara nueve estaciones meteorológicas con el objetivo de establecer rangos de variación térmica entre el centro urbano y la periferia. Se interpretan imágenes satelitales que permiten identificar las zonas con mayor temperatura superficial y relacionar elementos urbanos causantes de las variaciones térmicas. Entre los resultados obtenidos, destaca que al interior del límite urbano existen cuatro zonas climáticas diferentes, cuya diferencia térmica superficial entre zonas es de 5 °C; es decir, que al interior del límite urbano hay una diferencia de 25 °C entre las áreas de suelo más cálidas y las más frías (Guillén Mena & Orellana Valdez, 2017).

PANAMA

La presente contribución estima la Intensidad de Isla de Calor Urbano Superficial (SUHI) durante el período 2001–2016 para el Área Metropolitana de Cuzco (AMC), localizado en Perú, en el departamento de Cuzco. Para cuantificar la SUHI, se emplearon dos métodos: el primero es el método de Streutker y el segundo, el método de cuantil propuesto por José Flores. Se utilizó información de sensoriamiento remoto de LST mensual y un producto anual de tipo de cobertura de suelo (*Land Cover Type*) a 0,05° de resolución, obtenido del sensor MODIS a bordo de los satélites TERRA y AQUA. En el AMC, durante los períodos diurnos, el SUHI muestra valores máximos en marzo (4,6 °C) y mínimos en julio (0,5 °C); mientras que, en la noche, presenta valores máximos en octubre (2,6 °C) y mínimos en marzo (1,7 °C) según el método de cuantiles, dado que el área metropolitana de Cuzco no se ajusta a una superficie gaussiana (Angeles Suazo, Flores Rojas, Vásquez, & Karam, 2021).

COSTA RICA

Araiza-Olivares (2022) analizó el comportamiento mostrado por la isla de calor en la Ciudad de México durante el periodo comprendido de 1950 a 2010. Se trabajó con datos climatológicos de temperatura media por década; la selección de las estaciones consideró el periodo de funcionamiento y datos disponibles. Se estudió la tendencia de la temperatura media de tres estaciones que cumplieron con características específicas: encontrarse dentro del área urbana desde el inicio de operación, haber sido absorbida por la mancha urbana en algún punto de su periodo de funcionamiento y encontrarse en un área rural. Se constató el incremento de la temperatura al interior del área urbana a través del periodo de tiempo en contraste con la zona periurbana, que se mantuvo relativamente estable; asimismo, las isothermas mostraron un comportamiento de constante expansión conforme la mancha urbana aumentó en superficie.

CHILE

Mendonça y Lombardo (2009) estudiaron el clima de la conurbación de Florianópolis y demostraron la influencia simultánea de factores geo ecológicos y de la urbanización sobre la variación espacio-temporal de la temperatura y otros elementos climáticos. Se levantaron datos meteorológicos en varias localidades, en horarios sinópticos y en diferentes tipos de tiempo, utilizando un termohidrógrafo digital y observaciones visuales. Los mapas de gradiente de temperatura, referidos a datos de la estación del aeropuerto, evidenciaron una significativa conservación térmica en zonas con construcciones verticales, alta densidad e intenso tráfico. No se observó la formación de una isla de calor continua, sino un archipiélago, debido al carácter multinuclear de la urbanización y a la compartimentalización morfológica de los sitios. Las islas de calor más intensas se registraron en el sector central de la región, bajo dominio polar y en situaciones de transición y prefrontal. Estos

hallazgos resultan relevantes para evaluar la calidad ambiental y elaborar diagnósticos necesarios para el planeamiento urbano.

COLOMBIA

En este artículo se presentan resultados finales de un proyecto de investigación bianual (2009-2010), denominado *Variación histórica y espacial de la isla de calor urbana en zona árida*, financiado por la Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Su objetivo principal es determinar la progresiva modificación de la isla de calor urbana en un período de quince años (1995-2010) y la correlación de esta con la ocupación del área urbana del Gran San Juan (GSJ), localizada en la diagonal árida de Sudamérica. Los resultados obtenidos demuestran la interrelación entre la ocupación urbana y la espacialización de la isla de calor en la ciudad (Papparelli et al., 2013).

El área urbana del Valle de Aburrá está compuesta por 13 zonas climáticas locales distribuidos en 13 climatopos. La zona más abundante es la de edificios bajos y compactos (46 % del área), seguida por la de edificios grandes de baja altura (13 % del área). Las construcciones grandes de baja altura son las más cálidas de la ciudad y se encuentran en el fondo del valle; algunas de estas construcciones se ubican en el climatopo del Centro, considerado la isla de calor. El ciclo anual de la isla de calor está en fase con el ciclo anual de la temperatura y hay fuertes indicios, en los últimos 17 años, de que la temperatura está disminuyendo en las épocas cálidas y viceversa para las épocas menos calientes. La cobertura del cielo por nubes es muy variable en el AUVA y modula la temperatura en superficie; la amplitud del ciclo diurno disminuye 5 °C en días nublados, un cambio en la cobertura por nubes del 10 % modifica la temperatura en 1 °C y, el 60 % del tiempo, la cobertura del cielo por nubes se encuentra entre 0 y 90 %. Los gradientes de temperatura entre el Centro y la zona rural Norte, junto con el factor de amplificación

topográfico, son los responsables de la brisa urbana (vientos aguas arriba a lo largo del eje del valle), mientras que el climatopo de Sabaneta, el Suroriental y el del Centro, junto con los vientos de fondo, son los formadores de los vientos aguas abajo. Los vientos aguas abajo y aguas arriba colisionan cerca de los 6.21° de latitud e incrementan la altura de la capa límite; además, esos vientos a lo largo del eje del valle tienen potenciales efectos ecosistémicos y sobre el transporte de material particulado. El Valle de Aburrá es un referente para ciudades tropicales ubicadas en topografía compleja, y la metodología planteada en este estudio es posible aplicarla en otras ciudades con topografía similar (Martínez Osorio, 2017).

Tique Pinzón (2022) explica que los cambios que experimenta la Tierra, tanto de origen natural como antrópico, se relacionan con fenómenos propios de la dinámica terrestre que pueden ser medidos mediante imágenes satelitales captadas por sensores, las cuales contienen información que no puede obtenerse por otros medios. El avance tecnológico de estas herramientas permite realizar estudios que antes eran imposibles, como analizar y visualizar los cambios en la superficie terrestre a lo largo de los años a causa de la expansión urbana. Asimismo, posibilita calcular la temperatura superficial en zonas específicas, considerando los materiales que sustituyen la cobertura vegetal, con el fin de establecer los impactos de estos cambios sobre el medio ambiente y la sociedad, y proponer soluciones a las problemáticas identificadas.

El aumento de temperatura en las ciudades, producto del exceso de gases de efecto invernadero, las actividades humanas cotidianas en el espacio, el retiro indiscriminado de la capa vegetal y el uso de materiales inadecuados, incentiva la búsqueda y el desarrollo de estrategias que posibiliten la generación de espacios confortables frente a las zonas de acumulación de calor. Por lo tanto, se intentará por medio del análisis de imágenes satelitales y el cruce de información

georreferenciada establecer islas de calor en la ciudad de Bucaramanga a fin de analizar la materialidad de dichas islas para recomendar un material con propiedades opto-térmicas, permitiendo alta reflexión solar y baja absorción radiactiva, para mitigar las islas de calor urbano (ICU) en la ciudad (Gualdrón Díaz, 2023).

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEORICO

Las islas de calor urbano (ICU) se definen como el aumento de la temperatura en áreas urbanas en comparación con sus zonas rurales cercanas, causado por la transformación del suelo y la concentración de edificaciones (Oke, 1982). <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502> Este fenómeno se genera por la pérdida de vegetación, el uso de materiales impermeables y el aumento del calor antropogénico, lo que altera el balance energético urbano (Landsberg, 1981). <https://acortar.link/ccRBIC>

En las últimas décadas, las ICU se han convertido en un problema ambiental y de salud pública, ya que aumentan la demanda energética y disminuyen la calidad del aire. En ciudades latinoamericanas, estos efectos se han intensificado con el crecimiento urbano acelerado (Gualdrón Díaz, 2023). <http://hdl.handle.net/11634/48514>

Las islas de calor se originan por una combinación de factores físicos y antrópicos, como la morfología urbana, la densidad edificatoria, los materiales de construcción y la cobertura vegetal (Oke, 2002). <https://acortar.link/qInlCI> Los materiales de baja reflectancia, como el concreto y el asfalto, absorben más radiación solar y reducen la capacidad de enfriamiento del suelo (Santamouris, 2015). <https://acortar.link/Th1GPP>

En Colombia, Martínez Osorio (2017) explica que la topografía y las condiciones climáticas locales también afectan la intensidad del fenómeno, generando microclimas que varían dentro de una misma ciudad. <https://acortar.link/PjoWFW>

La teledetección satelital y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas fundamentales para identificar y analizar las islas de calor urbano. A través de imágenes multiespectrales, es posible calcular la temperatura de la superficie terrestre (LST) y el índice de vegetación (NDVI), indicadores clave para relacionar la vegetación con la temperatura (Weng, 2009). <https://acortar.link/j1HzvD>

El uso combinado de estas herramientas permite realizar análisis espaciales y temporales, comparar diferentes periodos y evaluar los efectos del crecimiento urbano sobre la temperatura (Tomlinson, 2013). Este enfoque multitemporal es esencial para comprender los cambios térmicos y su evolución en el tiempo. <https://acortar.link/mF6ZuV>

2.2. MARCO AMBIENTAL

Descripción del Problema Ambiental Central

El proyecto aborda la intensificación del fenómeno de la Isla de Calor Urbana (ICU) en la zona de Real de Minas, Bucaramanga.

- **Característica:** La ICU se define por un aumento significativo de la temperatura en áreas urbanizadas en comparación con sus zonas rurales o periurbanas circundantes.
- **Causas principales:** El problema es provocado por el crecimiento acelerado de las ciudades y la transformación de la cobertura natural en superficies impermeables (asfalto, concreto, techos metálicos). Otras causas incluyen la reducción de áreas verdes, la alta densidad de edificaciones, la acumulación

de calor en materiales constructivos, el aumento del tráfico vehicular y la emisión de contaminantes.

- **Agravamiento:** La falta de planificación urbana orientada a la mitigación y la ausencia de monitoreo térmico continuo exacerban el problema.

Impactos Ambientales y Sociales

El fenómeno de la ICU genera múltiples efectos adversos que justifican su estudio:

- **Salud Pública:** Efectos adversos sobre la salud de la población.
- **Consumo Energético:** Incremento en el consumo energético debido a la necesidad de refrigeración.
- **Calidad Ambiental:** Deterioro de la **calidad del aire** y de la calidad ambiental en general.
- **Bienestar Ciudadano:** Afectación directa de la calidad de vida de los habitantes y del bienestar ciudadano.
- **Vulnerabilidad Climática:** Aumento de riesgos para poblaciones vulnerables y disminución de la resiliencia climática.

Fundamento Teórico Ambiental

El proyecto se fundamenta en marcos conceptuales esenciales para el análisis ambiental urbano:

- **Clima Urbano y Efecto de Isla de Calor:** Basado en teorías de autores como Oke, Landsberg, y Howard, que estudian la modificación del clima dentro de los límites urbanos.
- **Factores Físicos:** Consideración de la geomorfología, las coberturas del suelo y los materiales de construcción como elementos clave que influyen en la acumulación de calor.

- **Teoría del Paisaje y Ecología Urbana:** Aborda la relación entre el uso del suelo, la planificación urbana y los procesos ecológicos para proponer soluciones basadas en evidencia.

Estrategias de Mitigación Propuestas

El objetivo final del proyecto es proponer estrategias de mitigación sostenibles para mejorar el confort térmico y la resiliencia climática en Bucaramanga.

- **Ejemplos de estrategias:**
 - Ampliación de áreas verdes.
 - Uso de materiales reflectantes (p. ej., techos reflectantes).
 - Planificación de corredores ecológicos.

Herramientas y Metodología con Relevancia Ambiental

La metodología se centra en técnicas que permiten el monitoreo térmico continuo y el análisis geoespacial, esenciales para el diagnóstico ambiental:

- **Teledetección:** Utilización de imágenes satelitales multitemporales para detectar variaciones de temperatura superficial (TS).
- **Sistemas de Información Geográfica (SIG):** Empleados para la elaboración de mapas temáticos, la delimitación de áreas críticas y la relación de la intensidad de la ICU con la cobertura del suelo y la morfología urbana.
- **Análisis Espacial:** Métodos de interpolación y modelamiento geoespacial para generar un modelo cartográfico de áreas críticas.

El impacto de este trabajo de grado es la generación de soluciones prácticas y escalables que pueden ser aplicadas por administraciones públicas y el sector privado para un impacto positivo duradero en la calidad de vida urbana y la mitigación del cambio climático a nivel local.

2.3. MARCO LEGAL

El marco legal que respalda el presente proyecto se basa en el conjunto de normas, leyes y políticas públicas colombianas que regulan la gestión ambiental, el ordenamiento territorial, la mitigación del cambio climático y el uso sostenible del suelo urbano.

El estudio de **islas de calor urbano (ICU)**, mediante técnicas de análisis geoespacial, se inscribe dentro de la política nacional de sostenibilidad, ya que busca comprender cómo la urbanización y la cobertura del suelo afectan el microclima de Bucaramanga, contribuyendo así a la planificación ambiental urbana y a la mejora de la calidad de vida.

Marco normativo colombiano aplicable al proyecto

Constitución Política de Colombia (1991)

La Constitución consagra el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano (artículo 79) y la obligación del Estado **de** proteger la diversidad e integridad del ambiente (artículo 80). Además, ordena la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar el desarrollo sostenible.

<https://url-shortener.me/7TUI>

Ley 99 de 1993

Crea el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y el Sistema Nacional Ambiental (SINA), estableciendo los principios de coordinación, descentralización y participación ciudadana en la gestión ambiental. Esta ley es fundamental para el proyecto, ya que otorga al MADS la función de promover estudios científicos y técnicos sobre calidad ambiental, clima y ordenamiento del territorio. <https://url-shortener.me/6CFE>

Política Nacional de Cambio Climático (PNCC, 2017)

Define estrategias para reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia frente a los impactos del cambio climático, promoviendo acciones de mitigación como la reducción del calor urbano mediante planificación sostenible y aumento de áreas verdes. <https://url-shortener.me/7TUR>

Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE, 2012)

Establece la conservación y restauración de ecosistemas urbanos como elementos fundamentales del bienestar humano y la mitigación del cambio climático. <https://url-shortener.me/7TUX>

Ley 388 de 1997

Regula el ordenamiento territorial, articulando el desarrollo urbano con la sostenibilidad ambiental. Los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) deben integrar la gestión del riesgo climático y la protección del ambiente urbano. <https://url-shortener.me/7TV1>

Decreto 1076 de 2015

Compila las normas ambientales relacionadas con la gestión de la calidad del aire, el uso del suelo y el control de emisiones, relevantes para el estudio de microclimas urbanos. <https://url-shortener.me/7TV2>

Política Nacional de Cambio Climático (PNCC, 2017)

Esta política busca fortalecer la resiliencia de los asentamientos humanos frente al cambio climático, promoviendo la reducción de las islas de calor urbanas mediante infraestructura verde, uso de materiales sostenibles y reforestación urbana.

<https://url-shortener.me/7TUR>

Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE, 2012)

Orienta la integración de la biodiversidad en los entornos urbanos y promueve la restauración ecológica como medida para reducir los efectos del calor urbano y mejorar el confort térmico. <https://url-shortener.me/7TVE>

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, 2015)

Particularmente el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y el ODS 13 (Acción por el clima), que establecen metas para construir ciudades más resilientes, inclusivas y sostenibles frente al cambio climático.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Bucaramanga

Establece la zonificación, los usos del suelo y los criterios de sostenibilidad ambiental en el municipio. El proyecto aporta información geoespacial para actualizar la gestión ambiental urbana.

<https://www.bucaramanga.gov.co/bucaramanga-avanza/plan-de-ordenamiento-territorial/>

El marco jurídico colombiano proporciona las bases para el desarrollo de este estudio, orientando su propósito hacia el cumplimiento de los principios de sostenibilidad ambiental y gestión responsable del territorio.

El proyecto de identificación y análisis geoespacial de islas de calor urbano en Bucaramanga contribuye a:

- Cumplir con la Ley 99 de 1993 y la Ley 388 de 1997, al generar información útil para la planeación urbana sostenible.
- Apoyar los objetivos de la Ley 1931 de 2018 y la PNCC, al ofrecer datos térmicos para planes de mitigación climática.
- Favorecer la PNGIBSE, al impulsar estrategias de reverdecimiento y restauración urbana.
- Aportar a los compromisos internacionales de Colombia con los ODS 11 y 13, fortaleciendo la adaptación urbana al cambio climático.

2.4. MARCO CONCEPTUAL

El estudio del fenómeno de isla de calor urbana (ICU) requiere comprender la interacción entre factores físicos, geográficos, ambientales y sociales que determinan las variaciones térmicas dentro de las ciudades. Este marco conceptual integra fundamentos teóricos de la climatología urbana, la ecología del paisaje, la geomorfología, la teledetección y la gestión territorial, orientando el análisis geoespacial del entorno urbano de Bucaramanga.

Clima urbano

El clima urbano se define como el conjunto de condiciones atmosféricas modificadas por la presencia y estructura de las ciudades, donde las actividades humanas y los materiales de construcción alteran los flujos de energía, humedad y temperatura (Oke, 1987). Este clima es distinto del entorno rural, ya que las urbes generan sus propios microclimas influenciados por la densidad edificatoria, la cobertura vegetal y el uso del suelo.

file:///C:/Users/vs441/Downloads/10.4324_9780203407219_previewpdf.pdf

Isla de calor urbana

El efecto de isla de calor urbana (ICU) describe el aumento de la temperatura en zonas urbanizadas respecto a sus alrededores rurales, debido a la absorción y acumulación de calor en materiales impermeables, la disminución de áreas verdes y la emisión de calor antropogénico (Landsberg, 1981). Este fenómeno afecta la calidad ambiental, la salud humana y la eficiencia energética de las ciudades.

<https://archive.org/details/urbanclimate0000land>

Geomorfología urbana

La geomorfología urbana estudia las formas del terreno y su influencia sobre los procesos ambientales en las ciudades. En Bucaramanga, la topografía irregular y el relieve interandino condicionan la dispersión térmica y la ventilación, generando zonas de mayor acumulación de calor. La comprensión de la forma del relieve es clave para el modelamiento espacial de la temperatura (Howard, 1833).

<https://url-shortener.me/80KC>

Cobertura y uso del suelo

La cobertura del suelo se refiere al tipo de superficie presente (vegetación, pavimento, edificación), mientras que el uso del suelo describe la función que cumple dentro del territorio urbano. Estos factores son determinantes en la distribución térmica, ya que las áreas vegetadas reducen la temperatura superficial mediante evapotranspiración, mientras que las superficies impermeables la incrementan (Navarro Julio, Diego Fernando, Díaz Otero, Helena Katherine).

<http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/12040>

Materiales de construcción

Los materiales de construcción influyen directamente en el balance energético urbano. Aquellos con alta conductividad térmica, como el concreto o el asfalto, absorben y retienen mayor cantidad de calor, intensificando la temperatura superficial del suelo (Oke, 1987). Por ello, la selección de materiales con propiedades reflectantes o permeables resulta esencial en la mitigación de islas de calor. file:///C:/Users/vs441/Downloads/10.4324_9780203407219_previewpdf.pdf

Teoría del paisaje

La teoría del paisaje considera la ciudad como un mosaico de ecosistemas interconectados que interactúan entre sí. Desde esta perspectiva, las ICU se interpretan como expresiones térmicas del paisaje urbano, influenciadas por la estructura espacial, la cobertura vegetal y los corredores ecológicos (Forman & Godron, 1986). <https://url-shortener.me/80MM>

Ecología urbana

La ecología urbana analiza las relaciones entre los organismos humanos y su entorno construido. Permite comprender cómo la configuración del espacio urbano afecta los procesos ambientales y la calidad de vida. Promueve la restauración ecológica y el diseño de infraestructura verde como herramientas para contrarrestar el calentamiento urbano (Grimm et al., 2008). <https://doi.org/10.1126/science.1150195>

Geo información

La teoría de la Geo información se basa en el uso de datos espaciales para la representación, análisis y modelamiento de fenómenos geográficos. En este proyecto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la cartografía temática

permiten correlacionar variables térmicas, de cobertura y morfología urbana (Goodchild, 2000). <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>

Teledetección

La teledetección es una técnica que utiliza sensores satelitales o aéreos para obtener información del territorio sin contacto directo. A través de imágenes térmicas (como las del sensor Landsat o MODIS), es posible calcular la temperatura superficial del suelo y detectar las zonas críticas de calor urbano (Jensen, 2007). <https://url-shortener.me/80RA>

Dimensión social y territorial

La dimensión social y territorial reconoce que el impacto de las islas de calor no es uniforme: afecta con mayor severidad a las comunidades vulnerables que habitan zonas densamente urbanizadas o con escasa vegetación. Incorporar esta dimensión en el análisis permite proponer estrategias de equidad ambiental y resiliencia climática (ONU-Hábitat, 2020). <https://unhabitat.org/es>

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación propuesto para el estudio “Metodología a partir del análisis geoespacial para determinar islas de calor en zonas urbanas – caso Real de Minas” se estructura bajo un enfoque cuantitativo, de tipo exploratorio, correlacional y explicativo, orientado a comprender la distribución espacial y las causas del fenómeno térmico urbano.

- **Exploratoria**, porque busca reconocer las zonas urbanas afectadas por el fenómeno de islas de calor en el sector Real de Minas, en Bucaramanga.
- **Correlacional**, ya que se analizan dos periodos de tiempo entre las variables térmicas y la cobertura del suelo, la morfología urbana y los materiales superficiales.
- **Explicativa**, porque pretende identificar las causas del incremento térmico y su relación con los factores urbanos y ambientales.

El diseño de la investigación se basa en un enfoque mixto, cualitativo y cuantitativo, que integra el análisis técnico de datos geoespaciales con la interpretación ambiental y territorial. Este enfoque permite no solo identificar la presencia del fenómeno, sino también comparar su comportamiento en dos periodos de tiempo específicos, con el propósito de analizar los cambios espaciales y térmicos de las islas de calor urbano en el sector Real de Minas.

La investigación es de tipo exploratorio, correlacional y explicativo, ya que busca reconocer las áreas más afectadas, establecer relaciones entre la cobertura del suelo, la morfología urbana y la temperatura superficial, y explicar las causas de la variación térmica a lo largo del tiempo. Se aplican métodos observacionales,

inductivos y analíticos, que permiten examinar la información desde una perspectiva espacial y temporal.

Las técnicas empleadas incluyen la teledetección satelital, el procesamiento digital de imágenes, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el levantamiento topográfico para la verificación de campo.

Técnicas e instrumentos

- Toma de datos de temperatura ambiente por medio de la aplicación móvil Termómetro++
- SIG y cartografía temática (ArcGIS y QGIS).
- Levantamiento topográfico con GNSS o drones.
- Revisión de información secundaria (mapas catastrales, modelos digitales de elevación, coberturas).
- Trabajo de campo para la verificación térmica y georreferenciación.

El proyecto se divide en tres fases

Fase 1. Recolección y análisis de información existente

- Construcción del estado del arte
- Recolección de información geoespacial
- Registros históricos
- Descarga de imágenes satelitales y otra información
- Información de campo para verificación de puntos y control térmico

Fase 2. Análisis e interpretación de información

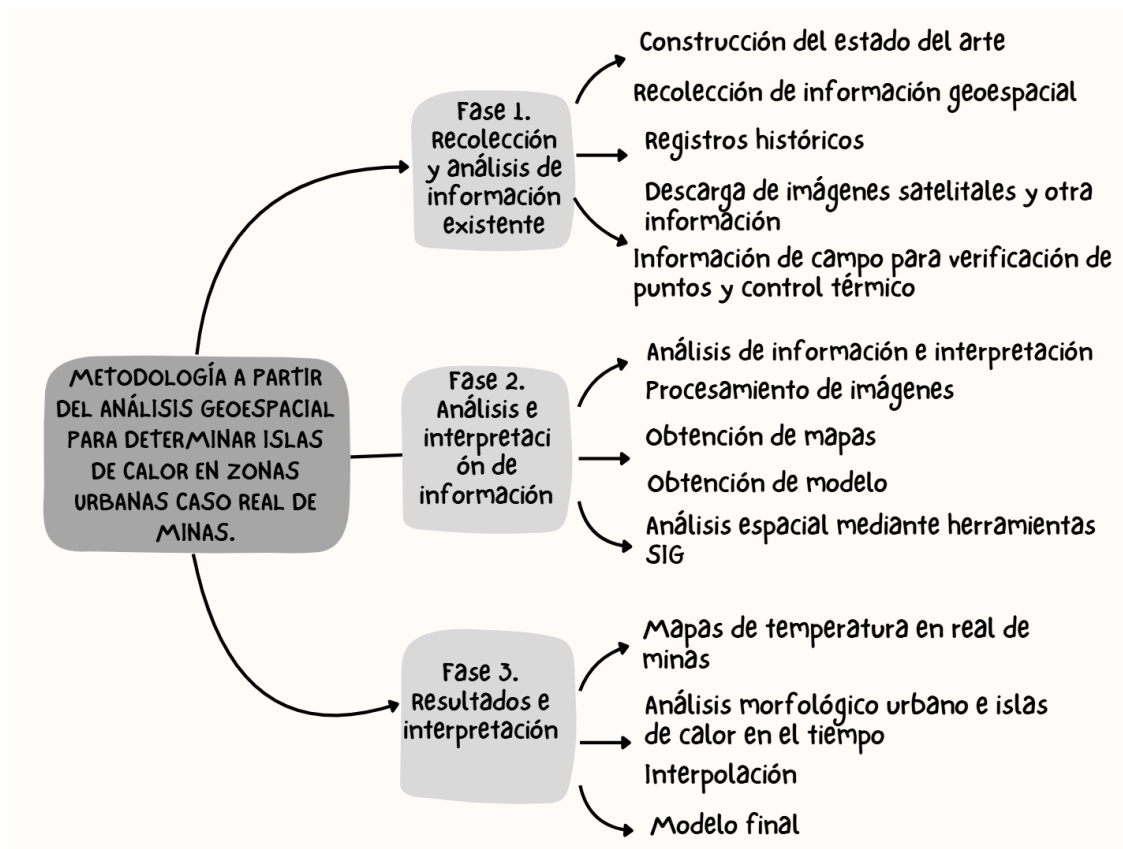
- Análisis de información e interpretación
- Procesamiento de imágenes
- Obtención de mapas

- Obtención de modelo
- Análisis espacial mediante herramientas SIG

Fase 3. Resultados e interpretación

- Mapas de temperatura en real de minas
- Análisis morfológico urbano e islas de calor en el tiempo
- Interpolación
- Modelo final

Ilustración 1 El proyecto se divide en tres fases.



Fuente: Autores

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

El estado del arte se encuentra desarrollado en el apartado 1.4 del proyecto en la pag 15 , donde se recopilaron y analizaron 15 investigaciones relevantes sobre el fenómeno de islas de calor urbanas (ICU), clasificadas en tres niveles de alcance: internacional, nacional y local. Este análisis permitió identificar los avances metodológicos y tecnológicos empleados en diferentes contextos geográficos, así como las tendencias de investigación en torno al uso de sensores remotos, índices espectrales y herramientas SIG aplicadas al estudio térmico de zonas urbanas.

Se examinaron estudios provenientes de España, Chile, México, Argentina, Brasil, Panamá, Costa Rica, Perú y Colombia, los cuales aportaron elementos comparativos sobre la influencia de la morfología urbana, el uso del suelo, la cobertura vegetal y los materiales de construcción en la intensidad de las islas de calor.

Entre los hallazgos más destacados se evidenció que las metodologías más efectivas se basan en el procesamiento de imágenes satelitales Landsat, la estimación de la temperatura superficial (LST) mediante bandas térmicas y la integración de variables morfológicas y ambientales en entornos SIG.

Con base en esta revisión, se seleccionaron los enfoques técnicos y las herramientas más adecuadas para el contexto urbano de Bucaramanga, priorizando la aplicación de teledetección multitemporal, clasificación de coberturas y modelamiento térmico geoespacial, que servirán de sustento metodológico para las fases posteriores del proyecto.

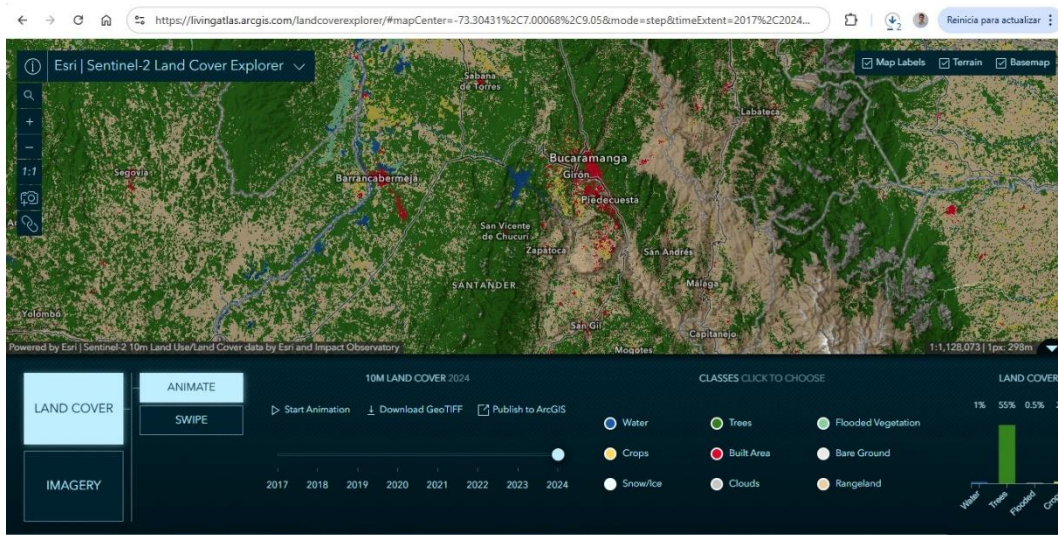
Para el desarrollo del presente proyecto se realizó la descarga y preparación de diversos insumos geoespaciales provenientes de fuentes satelitales y plataformas

oficiales. Estos datos constituyen la base para el análisis multitemporal y térmico del fenómeno de islas de calor urbanas en el sector de Real de Minas, Bucaramanga.

Se descargó un Modelo Digital de Terreno, producto del vuelo con el dron (MDT) con el fin de analizar la morfología del terreno y su influencia en la distribución térmica y en los flujos de calor. Este modelo permitió definir las pendientes, altitudes y orientaciones predominantes del área de estudio, aportando variables esenciales para el modelamiento geoespacial.

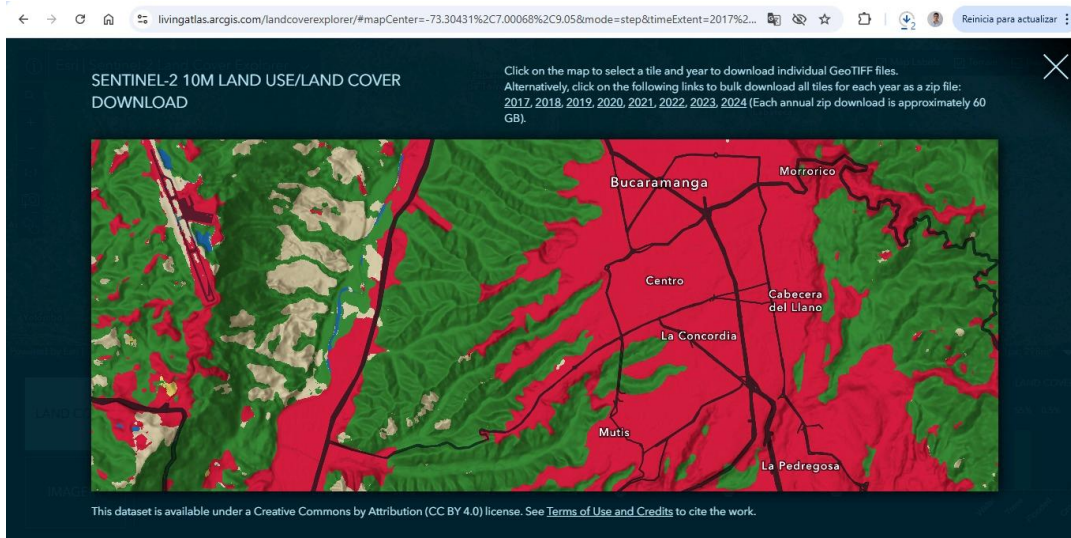
Adicionalmente, se integraron datos provenientes del Esri Land Cover, a partir del cual se extrajeron las clases de cobertura número 7 (áreas construidas 1 y 2) y las coberturas vegetales correspondientes a las clases de bosques, pastos y vegetación arbustiva.

Ilustración 2 Esri Land Cover



Fuente: <https://n9.cl/r4qhl>

Ilustración 3 Esri Land Cover



Fuente: <https://n9.cl/r4qhl>

De manera complementaria, se desarrolló una recolección de datos en campo, en la cual se ejecutaron vuelos de dron con el objetivo de obtener orto mosaicos de alta resolución, empleado para la verificación de puntos de control y la validación térmica de los datos satelitales. Estas actividades garantizaron la precisión geométrica y radiométrica de la información, fortaleciendo la confiabilidad del análisis geoespacial.

Ilustración 4 Shape Zona de Estudio



Fuente: AMB. <https://www.amb.gov.co/>

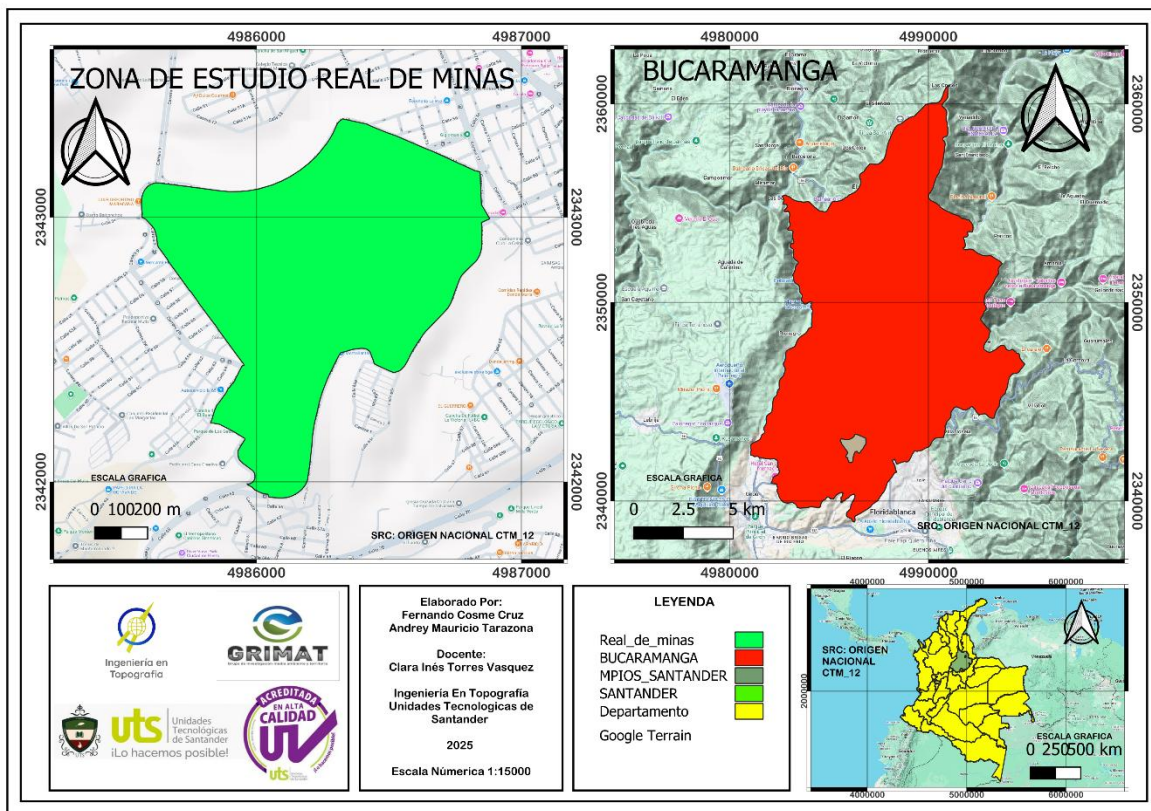
4.1. Descripción de la zona

El área de estudio se localiza en la comuna 7 Real de Minas, perteneciente al municipio de Bucaramanga, capital del departamento de Santander, Colombia. Esta zona se constituye uno de los sectores más representativos del crecimiento urbano planificado de Bucaramanga. Su localización estratégica dentro del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) la convierte en un punto clave para el análisis

de fenómenos urbanos relacionados con la expansión territorial y la variabilidad térmica.

El sector presenta una topografía suavemente ondulada, con altitudes promedio que oscilan entre 950 y 1.050 metros sobre el nivel del mar, correspondiente a un relieve de ladera media con pendientes moderadas hacia el oriente. La zona se caracteriza por un clima cálido húmedo, con temperaturas promedio anuales cercanas a los 25 °C y una marcada variación térmica diaria, factores que la hacen propensa a la manifestación del fenómeno de islas de calor urbanas.

Ilustración 5 Zona De Estudio Real De Minas



Fuente: Autores

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

Desde el punto de vista morfológico, Real de Minas se compone de edificaciones residenciales y comerciales de mediana altura, con una alta densidad constructiva y predominio de materiales como concreto, asfalto y cubiertas metálicas. Estas características favorecen la acumulación y retención del calor superficial, en contraste con los sectores adyacentes que conservan mayor cobertura vegetal o espacios abiertos.

En términos de infraestructura, el sector cuenta con una red vial consolidada, zonas de equipamiento urbano y una disminución progresiva de áreas verdes, especialmente hacia el centro del barrio y sus zonas comerciales. Este patrón de urbanización ha contribuido a la reducción del albedo local y al aumento de la temperatura superficial urbana, lo cual convierte a Real de Minas en un escenario ideal para el análisis térmico y el modelamiento geoespacial.

Finalmente, el área seleccionada se encuentra dentro de una zona de interés ambiental y social, dado que combina un alto nivel de urbanización con dinámicas de movilidad, comercio y concentración poblacional. Estas condiciones permiten evaluar de manera integral la relación entre la morfología urbana, la cobertura del suelo y la distribución espacial del calor, con el propósito de generar propuestas de mitigación y planificación territorial sostenible.

4.2. Métodos

4.2.1. Método IDW (Interpolación mediante distancia inversa)

Esta forma de interpolación establece el valor de las celdas mediante una combinación ponderada linealmente de un grupo de datos provenientes de puntos muestrales. Esto quiere decir que a medida que se aumenta la distancia, los puntos de muestreo se ponderan de tal forma que el impacto de un punto con respecto a otro disminuye. (Geo innova, 2020)

Este método se usa porque:

- permite crear mapas continuos de temperatura
- representa la variación local de la temperatura, haciendo cambios rápidamente de una zona con una temperatura a una de otro valor.
- El método es eficiente y simple, lo cual hace más fácil y rápida su implementación.

4.2.2. Método de Mapa de calor (estimación de densidad Kernel)

El mapa de calor que se basa en la densidad Kernel tiene su base en la estimación de densidad del núcleo, un método estadístico que posibilita calcular la densidad espacial de sucesos o valores a partir de datos puntuales. (esri, s.f.)

Este método produce una superficie continua en la que cada punto del mapa obtiene un valor que es resultado de la influencia de los puntos próximos. Para lograrlo, se ubica una función de densidad (kernel) en torno a cada punto de datos, la cual va disminuyendo poco a poco con la distancia. Cuando se superponen las funciones de todos los puntos, se logra una superficie que simboliza la concentración o intensidad espacial del fenómeno analizado.

Este método es usado porque permite:

- Visualizar la distribución espacial de las temperaturas dentro de la ciudad.
- Identificar las zonas donde se concentran las zonas de calor urbano.

4.2.3. Método Hots Spot (puntos calientes)

Este tipo de evaluación facilita la identificación de lugares inusuales en la distribución geográfica de una variable específica. En términos prácticos, el algoritmo proporciona un conjunto de registros que se clasifican como coldspots (zonas frías) y hotspots (zonas calientes), que se distinguen por su relevancia positiva o negativa en comparación con el promedio de la muestra.

Las puntuaciones Z y el valor P serán los que definan cuáles son esos datos que resultan estadísticamente inusuales. Sin embargo, para que la herramienta reconozca que dichos datos forman un clúster o agrupación relevante, es necesario que esos valores atípicos en cuanto a Z y P estén rodeados de valores semejantes.

Por lo tanto, a medida que las puntuaciones Z positivas aumentan, la intensidad de la agrupación se incrementa para los puntos calientes o hotspots. Del mismo modo, para evaluar la intensidad de la agrupación de coldspots o puntos fríos, se requerirán puntuaciones Z que sean más negativas. (Geo innova, 2020)

5. RESULTADOS

5.1. Análisis exploratorio de datos.

Tabla 1 Datos Recolectados.

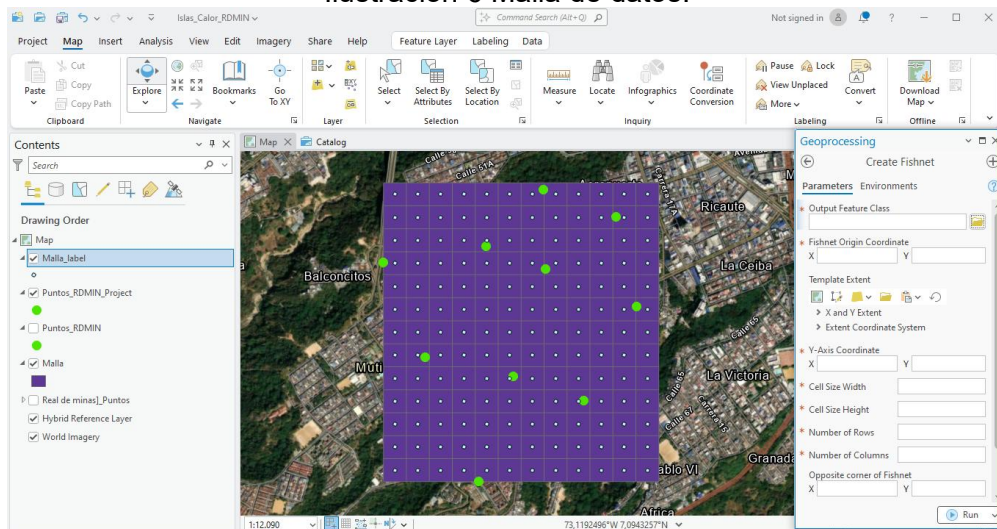
ID	X	Y	Temperatura D1	Temperatura D2	Temperatura D3	Temperatura D4	Temperatura D5	Temperatura D6	Temperatura D7	Temperatura D8	Temperatura D9	Temperatura D10	Temperatura D11	Temperatura D12	Temperatura Prom.
1	4985629.503	2343056.420	27.0	26.0	26.0	30.0	27.0	27.0	28.0	28.0	27.0	23.0	26.0	26.0	26.8
2	4986077.765	2343123.206	27.0	26.0	26.0	30.0	27.0	27.0	28.0	28.0	27.0	23.0	26.0	26.0	26.8
3	4986328.153	2343368.709	25.0	25.0	25.0	29.0	25.0	26.0	26.0	26.0	25.0	22.0	25.0	25.0	25.3
4	4986641.981	2343249.835	25.0	25.0	25.0	28.0	25.0	26.0	27.0	27.0	25.0	22.0	25.0	25.0	25.4
5	4986333.764	2343023.076	25.0	25.0	25.0	28.0	25.0	26.0	27.0	27.0	25.0	22.0	25.0	25.0	25.4
6	4985809.956	2342643.519	27.0	26.0	26.0	30.0	27.0	27.0	28.0	28.0	27.0	23.0	26.0	26.0	26.8
7	4986038.546	2342100.146	27.0	26.0	27.0	29.0	27.0	29.0	28.0	28.0	27.0	23.0	28.0	27.0	27.2
8	4986192.385	2342556.239	27.0	26.0	27.0	30.0	27.0	27.0	28.0	28.0	27.0	23.0	26.0	27.0	26.9
9	4986499.800	2342451.179	26.0	25.0	26.0	30.0	26.0	27.0	28.0	28.0	26.0	23.0	27.0	26.0	26.5
10	4986731.411	2342859.980	25.0	25.0	25.0	28.0	25.0	26.0	27.0	27.0	25.0	22.0	24.0	25.0	25.3

Fuente: Autores

5.1.1. Malla de datos.

1. Creación malla de datos.

Ilustración 6 Malla de datos.



Fuente: Autores

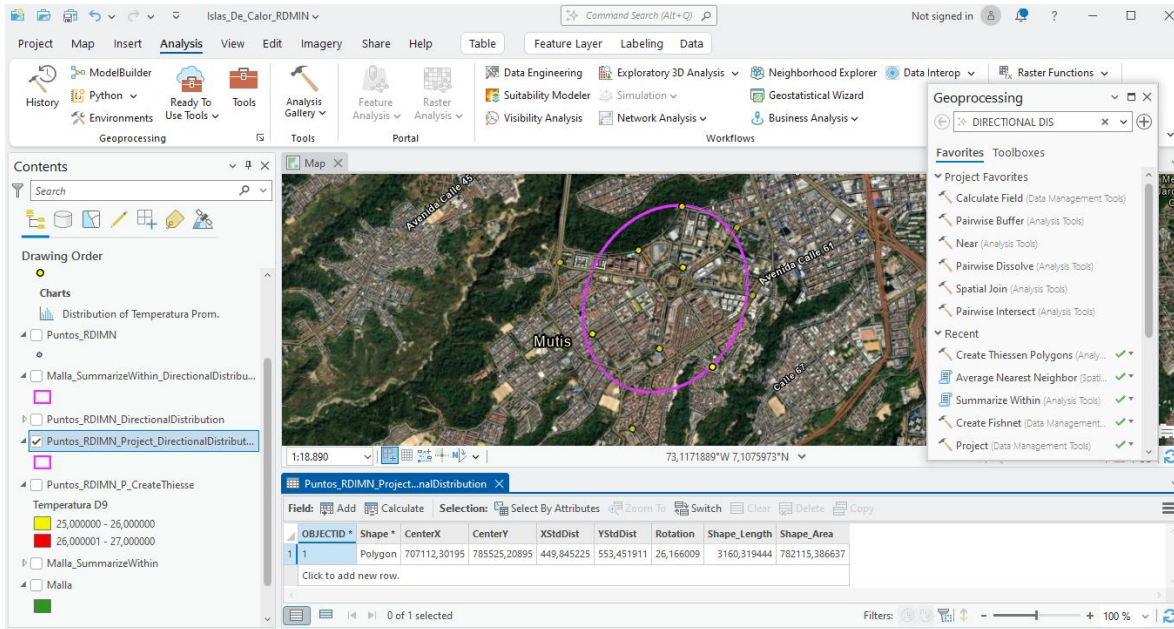
Se suben los datos, se usan los puntos de la zona de estudio para definir la malla.

Se usan distancias de 100mx100m

Se realiza conversión de sistema a WGS 1984 UTM Zone 18N.

5.1.2. Dirección de la distribución de los datos.

Ilustración 7 Dirección de la distribución de los datos.



Fuente: Autores

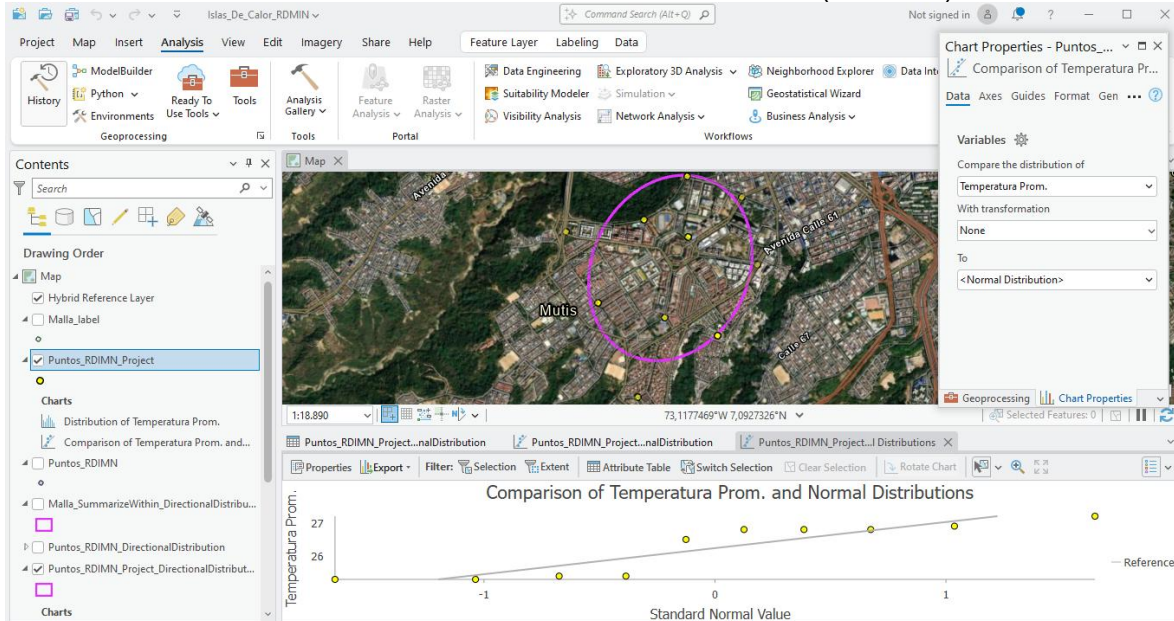
Los datos obtenidos de Directional Distribution (Standard Deviational Ellipse) muestran valores los siguientes valores:

- ✓ XStdDist = 449,845225
- ✓ YStdDist = 553,451911

Lo cual indica que la dispersión de los datos se presenta sobre el eje Y; es decir, en sentido Sur-Norte.

5.1.3. Gráfico de Probabilidad Normal (Q-Q Plot).

Ilustración 8 Gráfico de Probabilidad Normal (Q-Q Plot)

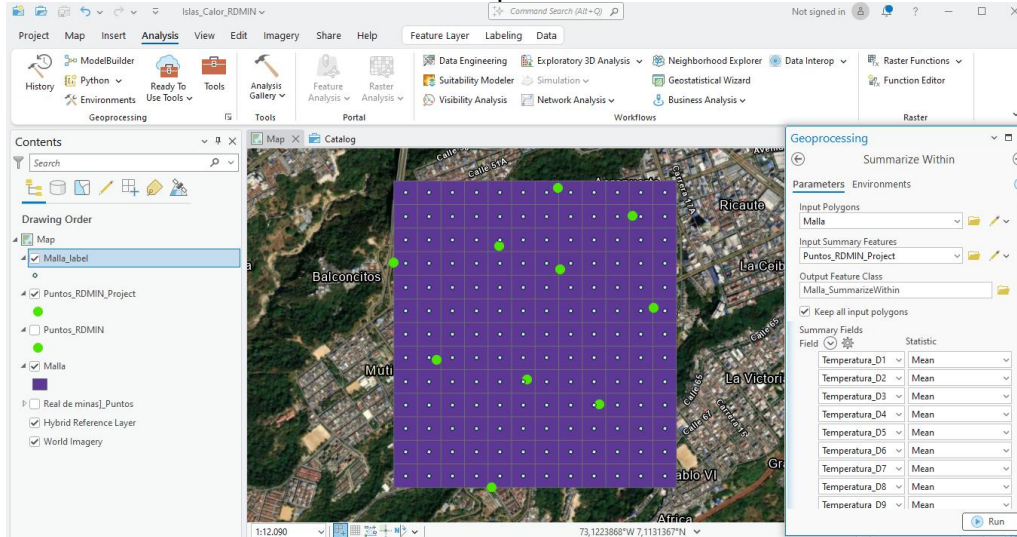


Fuente: Autores

Analizando la gráfica, la referencia es la línea recta gris, con una distribución normal. Los datos presentan una ubicación dispersa sobre esta línea, donde se tiene valores bajos y altos, lo cual indica que no hay una distribución perfecta de los datos.

5.1.4. Temperatura en la malla.

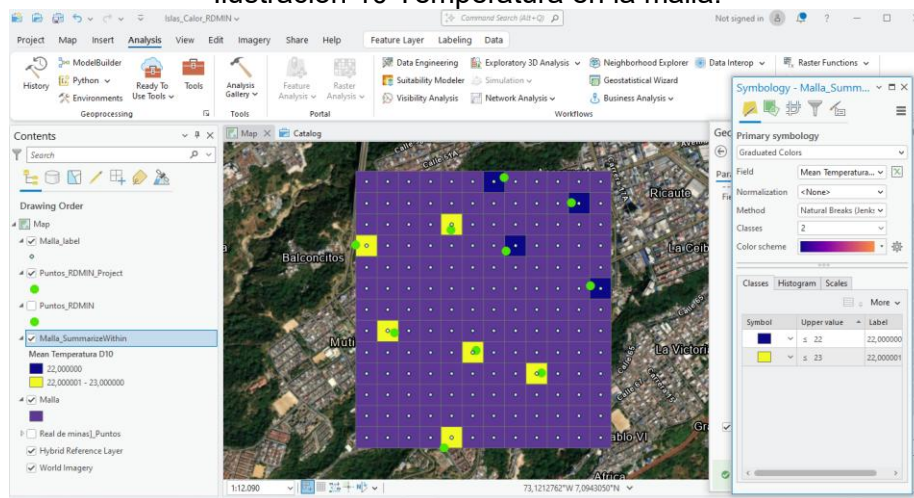
Ilustración 9 Temperatura en la malla.



Fuente: Autores

Se usa la función de Summarize Within para que la malla de datos nos muestre la distribución de las temperaturas dentro de la zona de estudio; para ellos se seleccionan las temperaturas de los 12 días y se escoge la media en estadística.

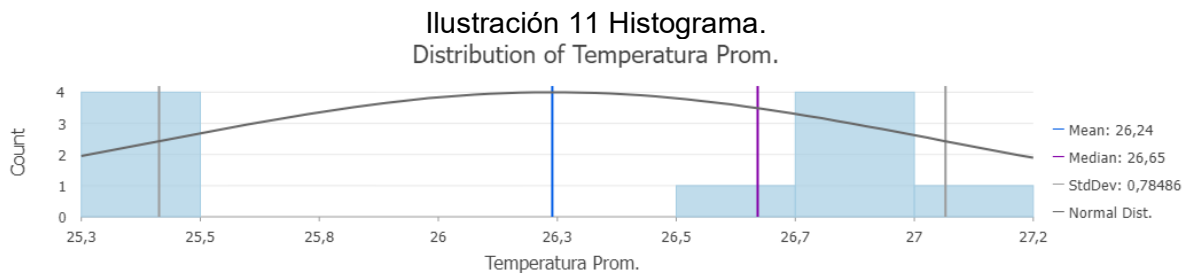
Ilustración 10 Temperatura en la malla.



Fuente: Autores

Al realizar la clasificación de la malla de datos por categoría de colores, se pueden notar las diferentes temperaturas distribuidas en el mapa partiendo desde cada punto; sin embargo, esta clasificación deja espacios vacíos entre los diferentes puntos, lo cual no permite tener una tendencia clara de las temperaturas.

5.1.5. Histograma



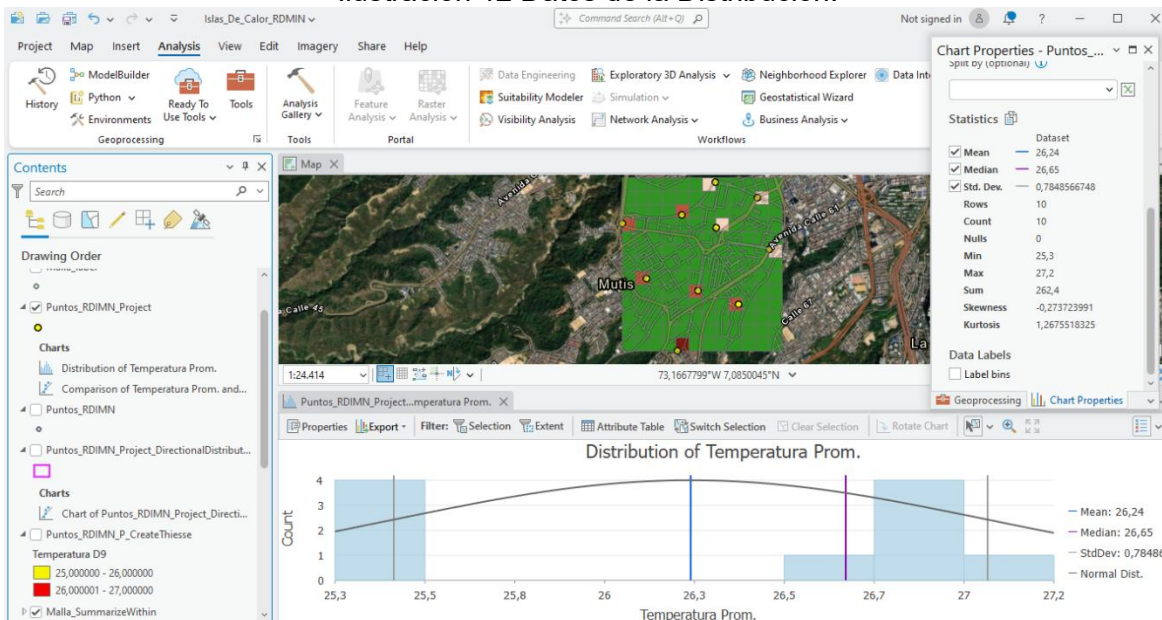
Fuente: Autores

El histograma presenta una forma de carácter bimodal, es decir, se concentran dos grupos de datos. La forma de la campana presenta una forma plana, lo cual quiere decir que tiene una distribución de forma platicúrtica.

Datos procesados:

- N° Datos: 130 datos
- Dato mínimo: 25.3 °C
- Dato máximo: 27.2 °C

Ilustración 12 Datos de la Distribución.



Fuente: Autores

5.1.6. Medidas de tendencia central

- Moda:
 $(25.5 + 25.3)/2 = 25.4$
- Media: 26.24
- Mediana: 26.65

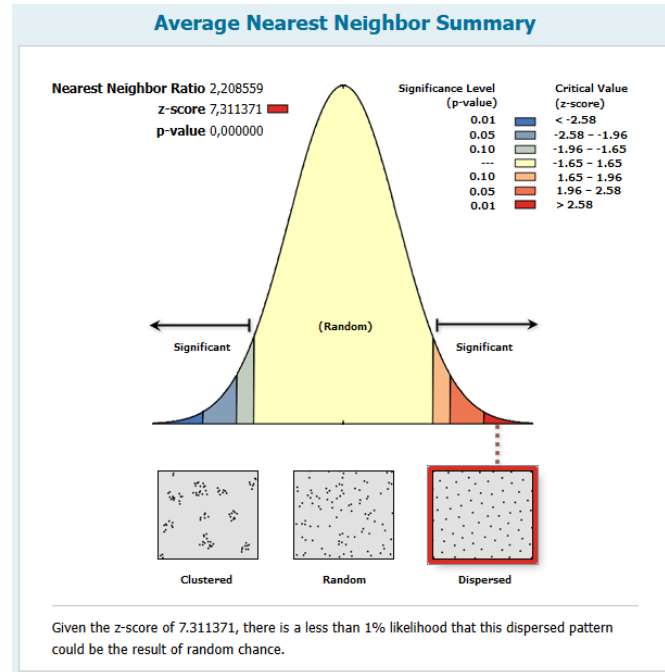
5.1.7. Medidas de dispersión

- Desviación estándar: 0.7848566748
- Curtosis: 1.2675518325
- Coeficiente de sesgo: -0.273723991
- Coeficiente de variación:

$$CV = \frac{0.7848566748}{26.24} * 100 = 2.99\%$$

5.1.8. Vecino más cercano.

Ilustración 13 Vecino más cercano.



Fuente: Autores

Dado el puntaje z de 7,311371, hay una probabilidad de menos del 1% de que este patrón disperso pueda ser el resultado del azar.

Ilustración 14 Datos vecino más cercano.

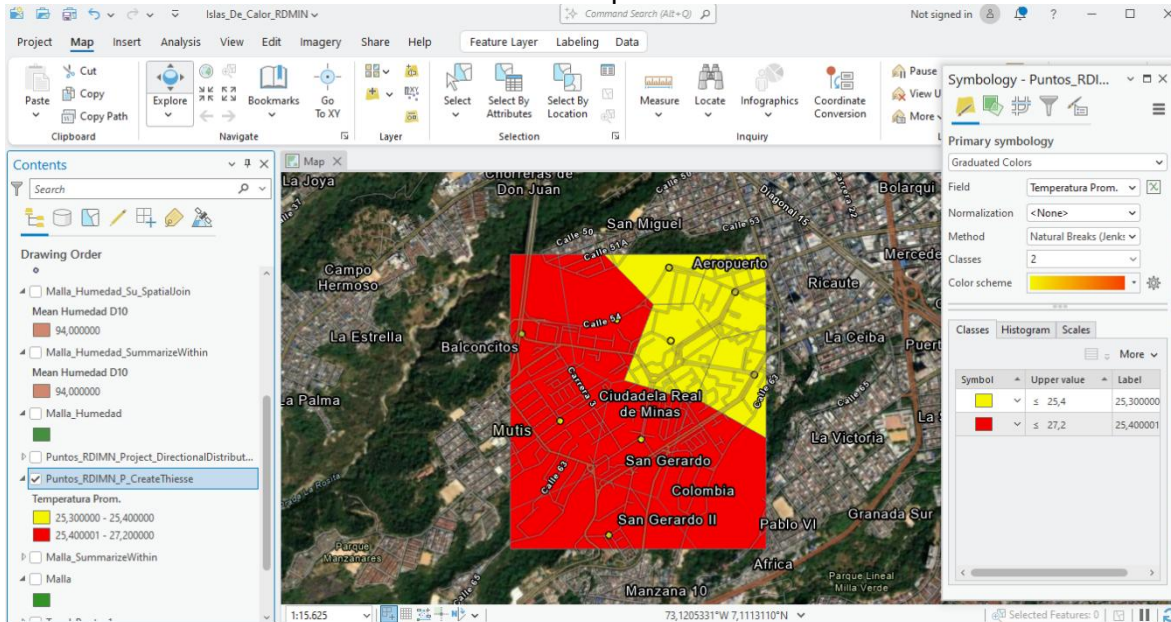
Average Nearest Neighbor Summary	
Observed Mean Distance	359,8222 meters
Expected Mean Distance	162,9217 meters
Nearest Neighbor Ratio	2,208559
z-score	7,311371
p-value	0,000000
Dataset Information	
Input Feature Class:	Puntos_RDIMN_Project
Distance Method:	EUCLIDEAN
Study Area:	1061739,272536
Selection Set:	False

Fuente: Autores

De acuerdo al análisis del promedio del vecino más cercano la distribución de los datos de temperatura es de tipo Dispersed (disperso).

5.1.9. Voronoi.

Ilustración 15 Mapa de Voronoi.

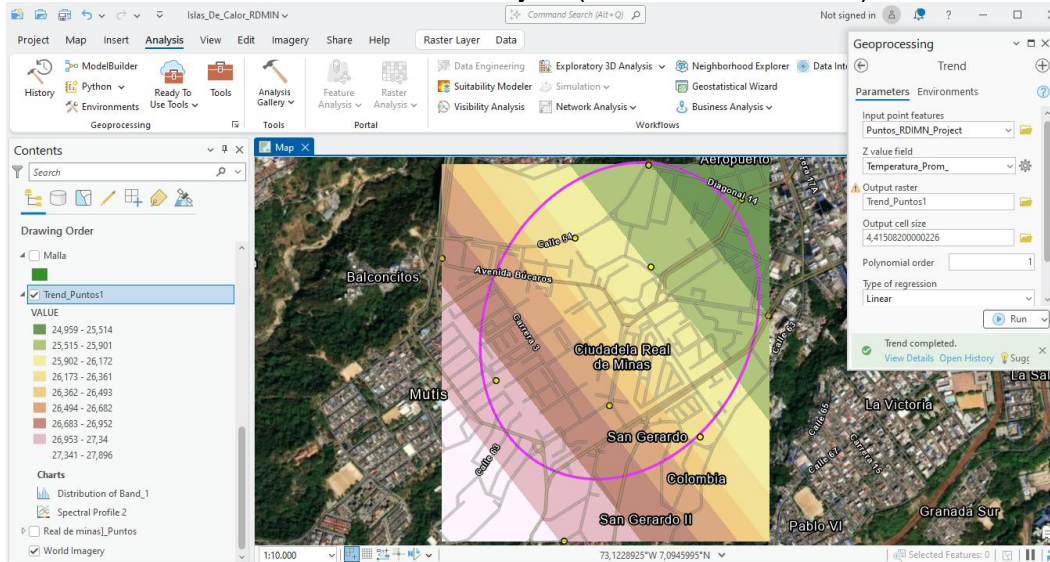


Fuente: Autores

Realizando el análisis del gráfico, se pueden observar tendencias de temperaturas mayores hacia la parte sur-occidental de la zona de estudio, es decir, que esta zona presenta niveles de temperatura más altos dentro de la comuna Real de Minas. En contraste, hacia la zona nor-oriental se lograron presenciar los valores de temperatura más bajos, indicando menos concentración de calor en esa zona.

5.1.10. Trend analysis (análisis de tendencia).

Ilustración 16 Trend analysis (análisis de tendencia).



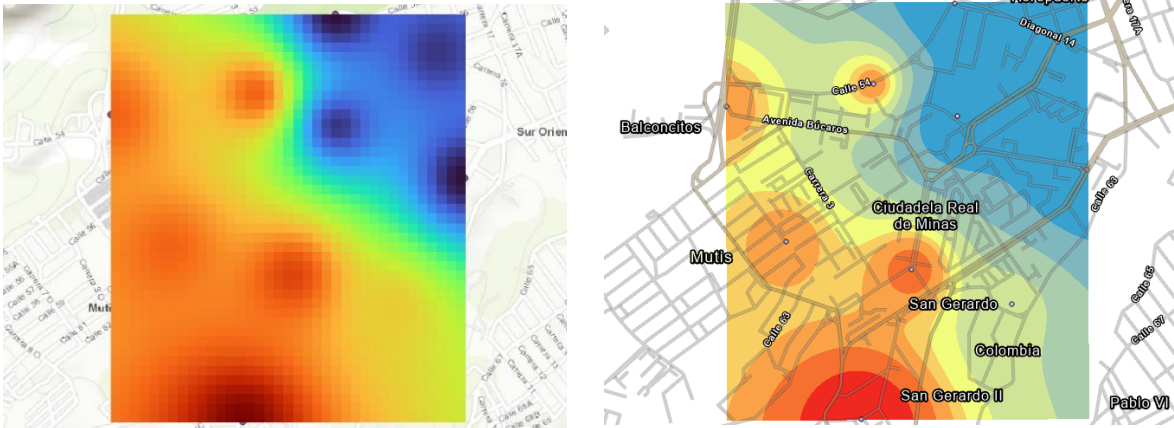
Fuente: Autores

Analizando la tendencia de los datos mediante este gráfico, se puede observar la propensión de temperaturas mayores hacia la zona Sur-Occidental de la comuna Real de Minas, empezando con datos desde los 24.95 °C hasta los 27.89 °C. Comparando este gráfico con los obtenidos anteriormente, se puede confirmar la tendencia de mayores temperaturas hacia una zona de la comuna estudiada.

5.2. Métodos IDW, Kernel y HotSpot

Promedio de Temperatura

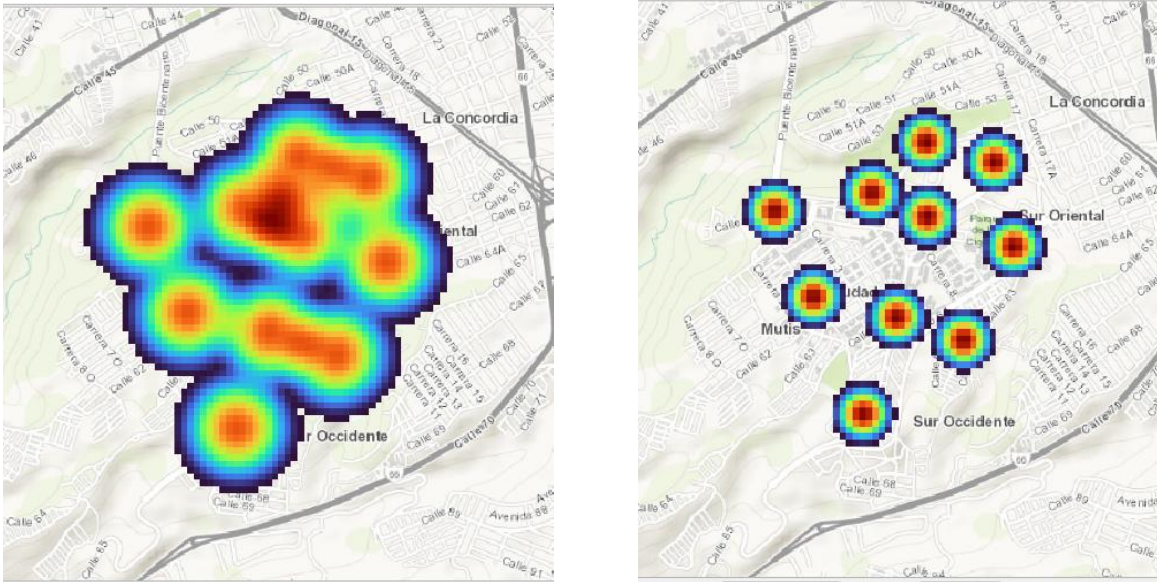
Ilustración 17 Método IDW Promedio de Temperatura



Fuente: Autores

En esta sección se presentan las imágenes obtenidas del método IDW procesado en el software QGIS y ArcGis, en donde se puede apreciar una similitud en los resultados. Cabe resaltar, que el mapa obtenido en ArcGis muestra una mejor correlación de la variación en las islas de calor. En la parte nor-oriental predomina el color azul oscuro, lo que evidencia la presencia de las temperaturas más bajas del área, cercanas al valor mínimo registrado. Hacia la zona central se observan tonos verdes y amarillos que se extiende de forma transversal de norte a sur, que corresponden a temperaturas intermedias, mostrando una transición gradual entre las zonas frías y cálidas. Por otro lado, en la parte inferior y sector sur - occidental del mapa predominan los colores naranja y rojo, indicando las temperaturas más altas, cercanas al máximo de 27.19 °C.

Ilustración 18 Estimación de núcleos (método Kernel) Promedio de Temperatura



Fuente: Autores

En el método de interpolación mediante mapa de calor se generaron dos representaciones utilizando radios de 300 m y 150 m. En este método, cada punto de control funciona como un núcleo de calor, desde el cual los valores se expanden radialmente hacia las zonas cercanas, disminuyendo gradualmente con la distancia.

En el mapa con radio de 300 m, las áreas de influencia de los puntos tienden a superponerse, formando superficies continuas de temperatura. Esto se observa principalmente en la zona norte, donde los tonos rojos y naranjas se unen, lo que indica cercanía entre los puntos de control y una mayor concentración de valores altos. En contraste, el mapa con radio de 150 m presenta zonas de calor más localizadas, generando pequeñas “islas” alrededor de cada punto de medición.

Por su parte, los tonos azules y verdes representan valores más bajos o áreas con menor influencia de los puntos, lo que sugiere que una mayor densidad de datos permitiría obtener una representación espacial más precisa.

Ilustración 19 Método de HotSpots Promedio de Temperatura

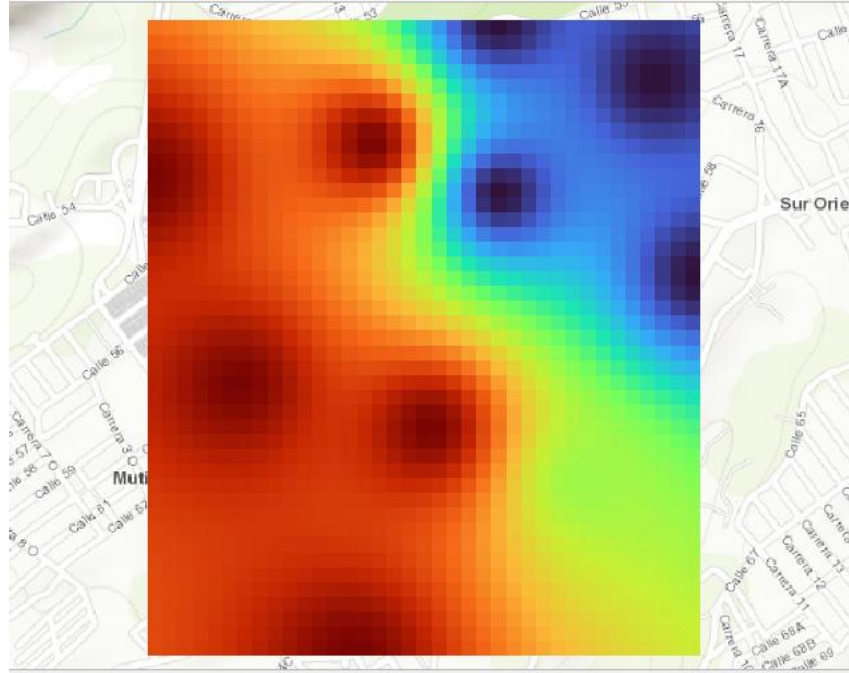


Fuente: Autores

Este método permite localizar los clustered de temperaturas de calor más significativos. Dentro de los clustered Cold se halló un punto ubicado hacia la zona nororiental con un 99% de confianza, lo cual indica un alto valor de significancia del dato. Además, un dato con el 95% de confianza, representando un dato significativo dentro de la información estadística recolectada; y 2 datos con un nivel de significancia del 90% haciendo a esos 2 datos, información de carácter moderado. Por otro lado, se ubica un valor de Hot Spot ubicado hacia la zona sur-occidental de la comuna, con un valor de confianza del 95%, dándole al dato un valor significativo. Por último, dentro del análisis realizado se evidenciaron datos no significante, es decir, datos por debajo de la media para la zona Cold y Hot, los cuales representan un 50% de los puntos de control tenidos en cuenta para este trabajo.

Día 1 (Temperatura entre 25°C y 27°C)

Ilustración 20 Método IDW Día 1 (Temperatura entre 25°C y 27°C)

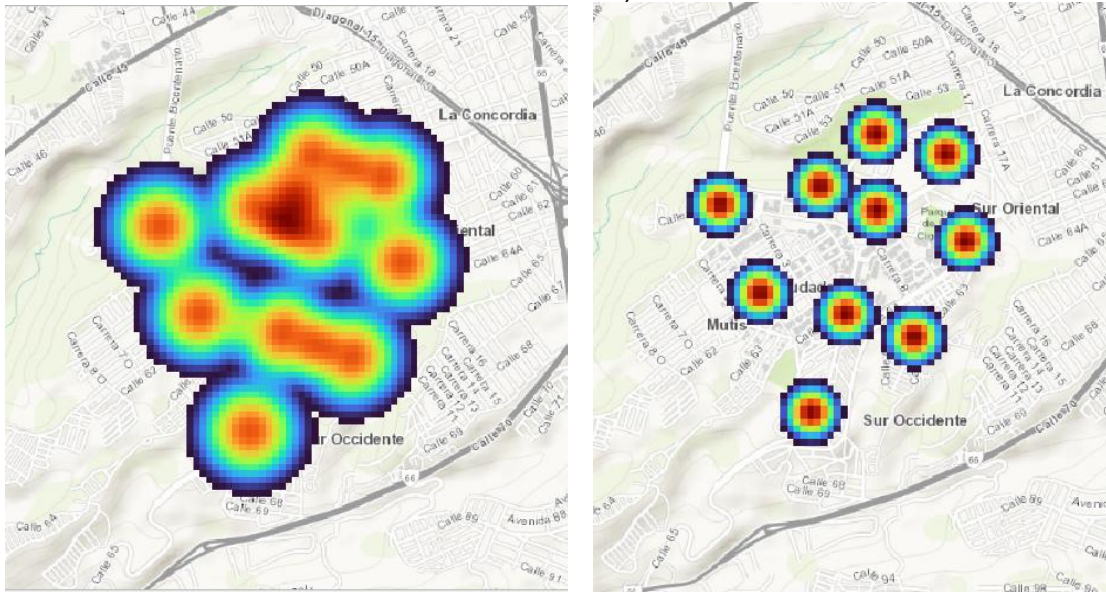


Fuente: Autores

Se observa una distribución térmica similar al comportamiento registrado en la temperatura promedio. En la zona nororiental predominan los tonos azules, los cuales representan las temperaturas más bajas del área. Hacia la zona central aparecen tonos verdes y amarillos, evidenciando temperaturas intermedias y una transición gradual entre las áreas frías y cálidas.

Por su parte, los tonos naranjas y rojos, tienen una fuerte presencia en la zona occidental y suroccidental, indicando las temperaturas más altas dentro del rango registrado para este día, lo que indica la presencia de pequeñas islas de calor urbanas similares a las observadas en el análisis del promedio.

Ilustración 21 Estimación de núcleos (método Kernel) Día 1 (Temperatura entre 25°C y 27°C)



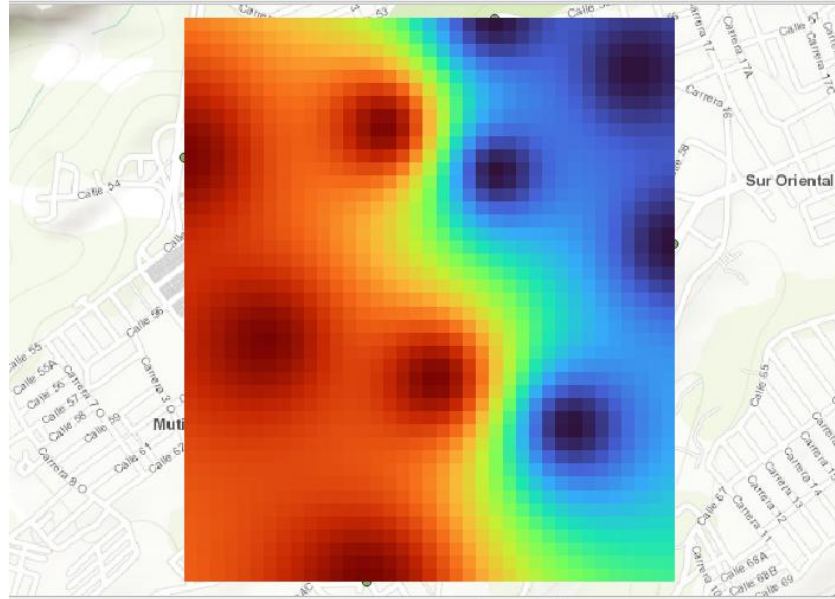
Fuente: Autores

En el mapa de calor con radio de 300 m, las zonas cálidas tienden a unirse, generando superficies continuas donde predominan los colores naranjas y rojos, especialmente en las áreas donde los puntos de control se encuentran más cercanos.

En el mapa con radio de 150 m, las áreas de mayor temperatura se muestran de forma más localizada, formando pequeñas islas de calor alrededor de cada punto de medición. Los tonos azules y verdes indican zonas de menor temperatura o menor influencia de los puntos de control.

Día 2 (Temperatura entre 25°C y 26°C)

Ilustración 22 Método IDW Día 2 (Temperatura entre 25°C y 26°C)



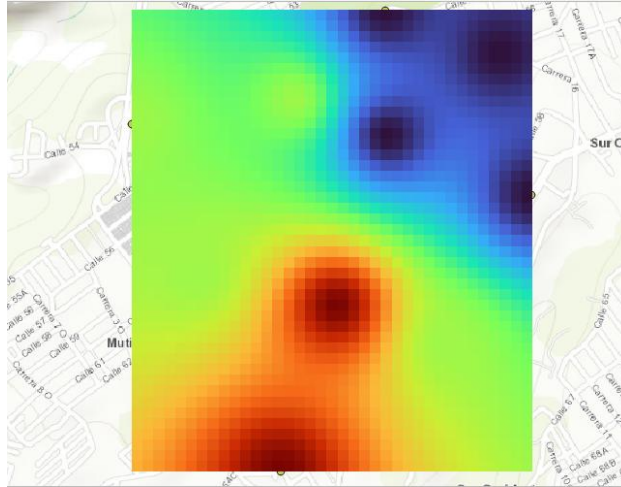
Fuente: Autores

Para este día se observa una menor variabilidad térmica, debido a que el rango de temperatura es más reducido, dividiendo la zona en 2 sectores muy marcados. Los tonos verdes y amarillos, representan valores intermedios que marcan la transición en el área de estudio de la zona cálida a la fría.

Las zonas con tonos azules continúan localizándose principalmente hacia el sector nororiental, indicando las temperaturas más bajas del área. Por su parte, los tonos naranja claro aparecen de forma puntual en algunos sectores centrales y meridionales ubicados en la zona occidental, representando los valores más altos registrados en este día.

Día 3 (Temperatura entre 25°C y 27°C)

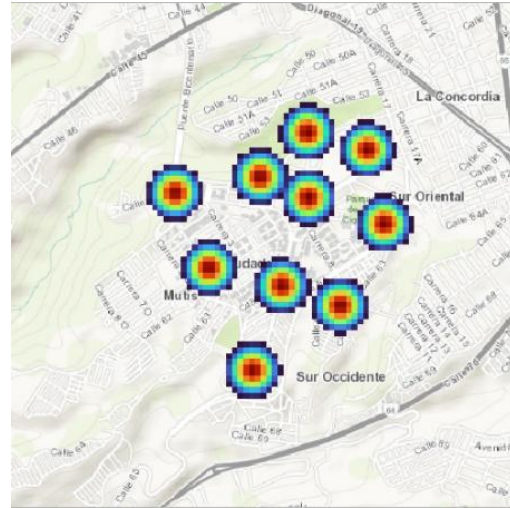
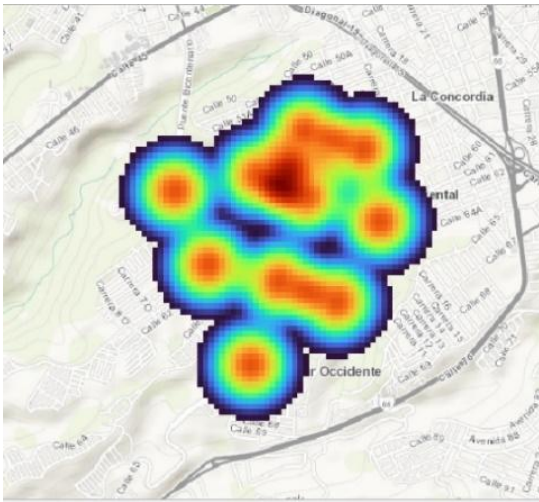
Ilustración 23 Método IDW Día 3 (Temperatura entre 25°C y 27°C)



Fuente: Autores

El comportamiento espacial de la temperatura presenta características diferentes a las tendencias en los días anteriores. Se mantienen valores bajos de temperatura sobre la zona nororiental, y los valores más altos tienden a ubicarse sobre la zona sur. Los tonos verdes y amarillos dominan la zona central con una gran participación sobre la totalidad del mapa, estos colores muestran una transición gradual entre las áreas frías y cálidas e indican que ese día la temperatura media fue notoriamente predominante.

Ilustración 24 Estimación de núcleos (método Kernel) Día 3 (Temperatura entre 25°C y 27°C)



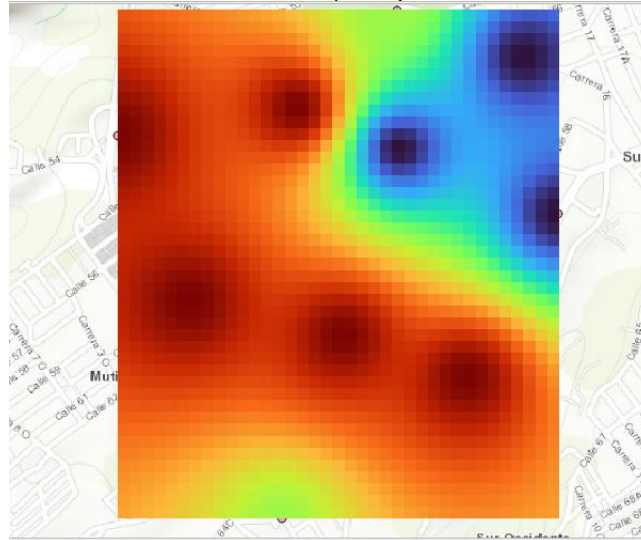
Fuente: Autores

El mapa de calor con radio de 300 m genera una superficie térmica más suavizada, donde las zonas de mayor temperatura se conectan formando áreas continuas.

En contraste, el mapa con radio de 150 m muestra nuevamente pequeñas áreas de calor aisladas, evidenciando con mayor claridad la influencia individual de cada punto de medición.

Día 4 (Temperatura entre 28°C y 30°C)

Ilustración 25 Método IDW Día 4 (Temperatura entre 28°C y 30°C)



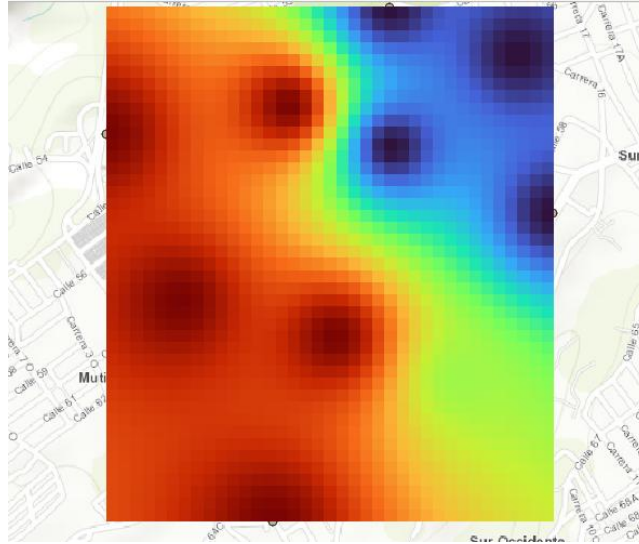
Fuente: Autores

Este día presenta un aumento considerable en la temperatura, evidenciado por la mayor presencia de tonos naranjas y rojos en gran parte del mapa. Las zonas con temperaturas más elevadas se concentran principalmente en la zona central y sur del área de estudio, lo que sugiere una tendencia de islas de calor urbanas sobre la misma zona. Los tonos azules aparecen en menor proporción, indicando que las temperaturas bajas fueron menos frecuentes en este día.

Los tonos verdes y amarillos representan temperaturas intermedias, para este día, se evidenció la presencia de un dato ubicado en la parte sur que se sale de la tendencia vista en anteriores días.

Día 5 (Temperatura entre 25°C y 27°C)

Ilustración 26 Método IDW Día 5 (Temperatura entre 25°C y 27°C)

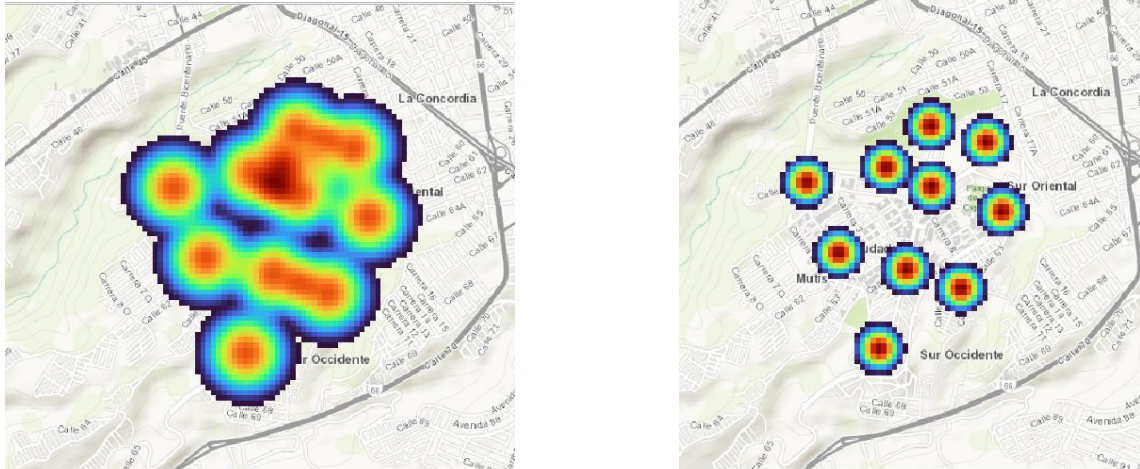


Fuente: Autores

Las condiciones térmicas vuelven a un rango similar al observado en el promedio general. Se mantiene el patrón donde los tonos azules y morados aparecen hacia el sector nororiental, mientras que los tonos verdes y amarillos predominan en la zona central.

Las áreas con tonos naranjas y rojos se ubican principalmente hacia el sector sur y suroccidental, lo que mantiene la tendencia espacial observada en días anteriores.

Ilustración 27 Estimación de núcleos (método Kernel) Día 5 (Temperatura entre 25°C y 27°C)



Fuente: Autores

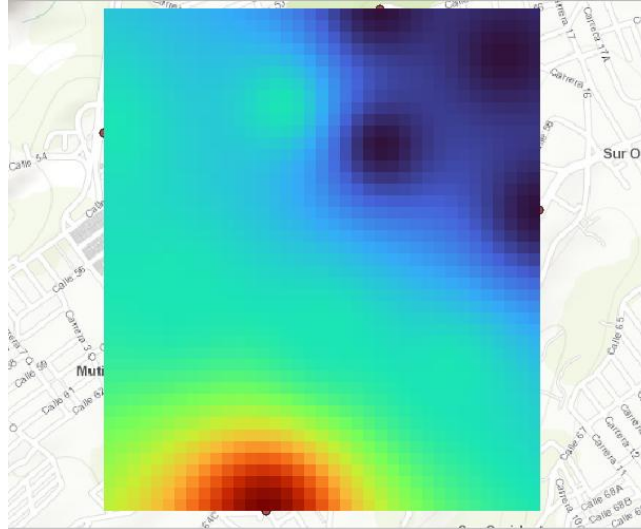
En el método de interpolación mediante mapa de calor se generaron dos representaciones utilizando radios de 300 m y 150 m. En este método, cada punto de control funciona como un núcleo de calor, desde el cual los valores se expanden radialmente hacia las zonas cercanas, disminuyendo gradualmente con la distancia.

En el mapa con radio de 300 m, las áreas de influencia de los puntos tienden a superponerse, formando superficies continuas de temperatura. Esto se observa principalmente en la zona norte, donde los tonos rojos y naranjas se unen, lo que indica cercanía entre los puntos de control y una mayor concentración de valores altos. En contraste, el mapa con radio de 150 m presenta zonas de calor más localizadas, generando pequeñas "islas" alrededor de cada punto de medición.

Por su parte, los tonos azules y verdes representan valores más bajos o áreas con menor influencia de los puntos, lo que sugiere que una mayor densidad de datos permitiría obtener una representación espacial más precisa.

Día 6 (Temperatura entre 26°C y 29°C)

Ilustración 28 Método IDW Día 6 (Temperatura entre 26°C y 29°C)



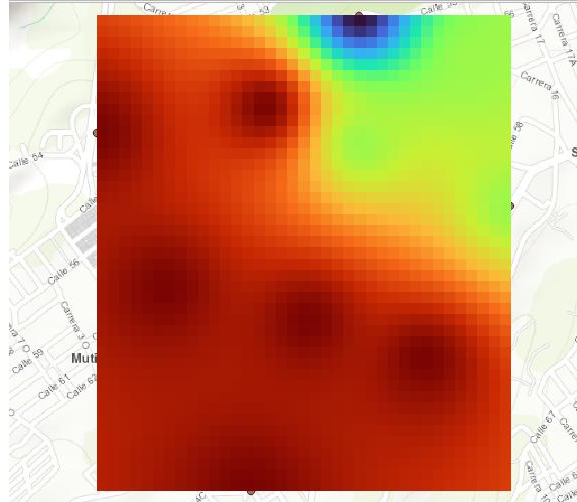
Fuente: Autores

Durante este día se observa un incremento moderado en la temperatura en general, se evidencia una presencia de datos intermedios en la mayor parte del mapa correspondiente al color azul aguamarina. Los tonos azules intensos aparecen en sectores periféricos de la zona nororiente representando temperaturas más bajas.

Para este día, se presencia un pico de temperatura alta en el punto de control ubicado en la zona sur, indicando mayor variabilidad sobre esta zona y manteniendo los valores más altos hacia esta zona.

Día 7 (Temperatura entre 26°C y 28°C)

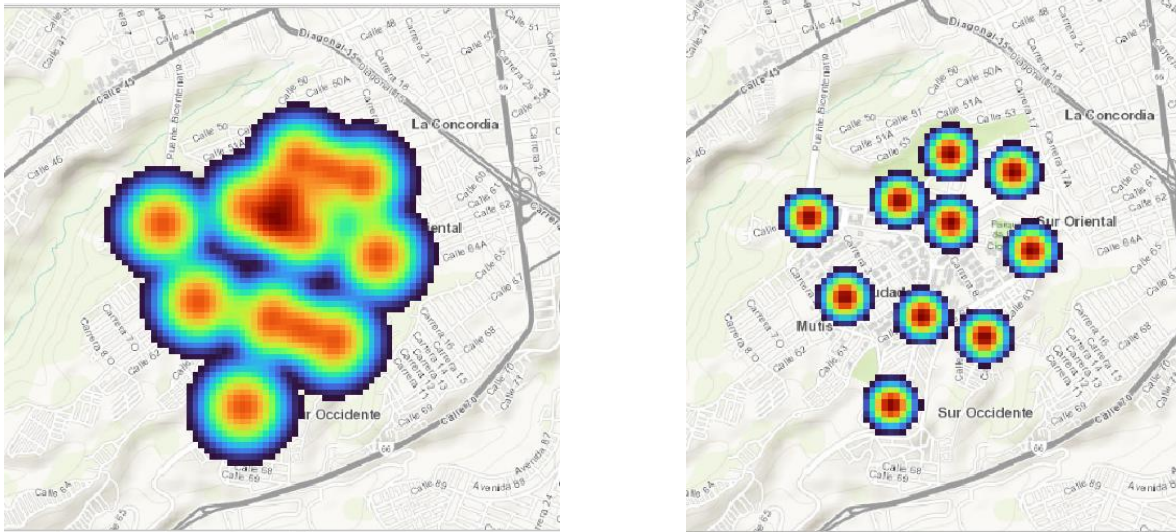
Ilustración 29 Método IDW Día 7 (Temperatura entre 26°C y 28°C)



Fuente: Autores

La distribución térmica muestra una fuerte presencia de temperaturas altas en el 80% de la zona, ubicadas hacia el sur y suroccidente. Las temperaturas promedio ocupan la mayor parte del área restante con una tendencia hacia en nororiente y un valor bajo de temperatura aparece aislado en un punto de la zona norte con su color azul.

Ilustración 30 Estimación de núcleos (método Kernel) Día 7 (Temperatura entre 26°C y 28°C)



Fuente: Autores

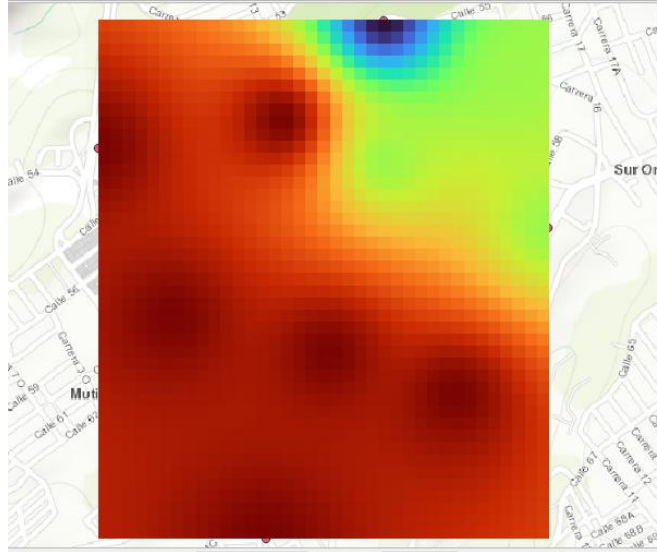
En el método de interpolación mediante mapa de calor se generaron dos representaciones utilizando radios de 300 m y 150 m. En este método, cada punto de control funciona como un núcleo de calor, desde el cual los valores se expanden radialmente hacia las zonas cercanas, disminuyendo gradualmente con la distancia.

En el mapa con radio de 300 m, las áreas de influencia de los puntos tienden a superponerse, formando superficies continuas de temperatura. Esto se observa principalmente en la zona norte, donde los tonos rojos y naranjas se unen, lo que indica cercanía entre los puntos de control y una mayor concentración de valores altos. En contraste, el mapa con radio de 150 m presenta zonas de calor más localizadas, generando pequeñas “islas” alrededor de cada punto de medición.

Por su parte, los tonos azules y verdes representan valores más bajos o áreas con menor influencia de los puntos, lo que sugiere que una mayor densidad de datos permitiría obtener una representación espacial más precisa.

Día 8 (Temperatura entre 26°C y 28°C)

Ilustración 31 Método IDW Día 8 (Temperatura entre 26°C y 28°C)

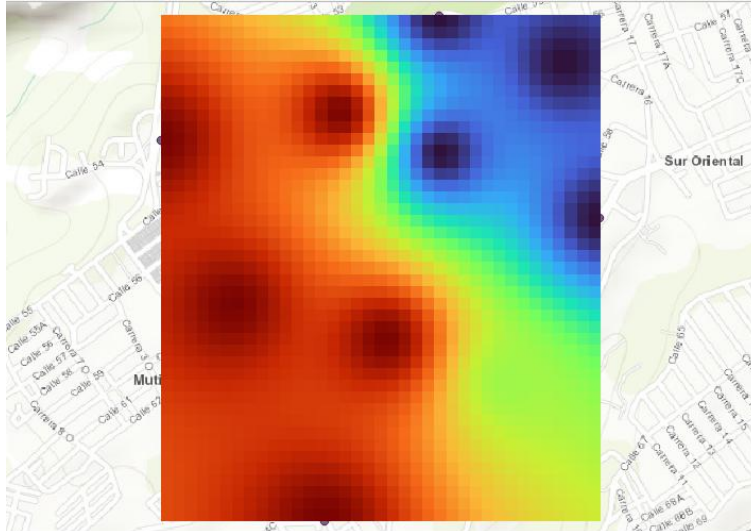


Fuente: Autores

Para este día, la temperatura tuvo un comportamiento idéntico a la registrada en el día 7, donde la distribución térmica muestra una fuerte presencia de temperaturas altas en el 80% de la zona, ubicadas hacia el sur y suroccidente. Las temperaturas promedio ocupan la mayor parte del área restante con una tendencia hacia en nororiente y un valor bajo de temperatura aparece aislado en un punto de la zona norte con su color azul.

Día 9 (Temperatura entre 25°C y 27°C)

Ilustración 32 Método IDW Día 9 (Temperatura entre 25°C y 27°C)



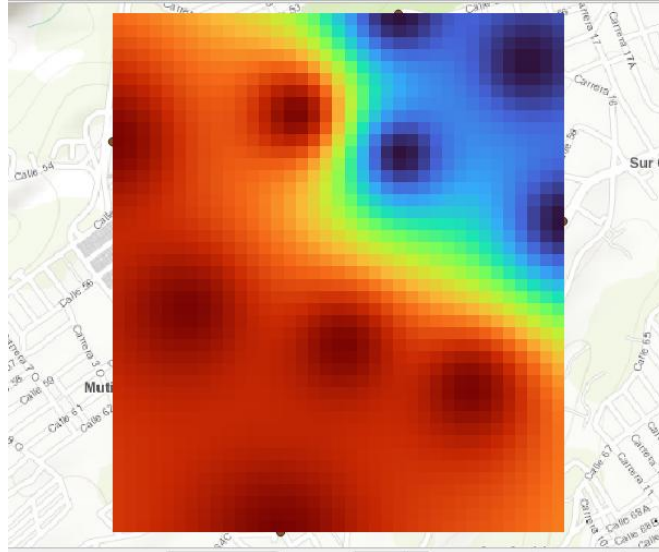
Fuente: Autores

Las condiciones térmicas vuelven a un rango similar al observado en el promedio general. Se mantiene el patrón donde los tonos azules y morados aparecen hacia el sector nororiental, mientras que los tonos verdes y amarillos predominan en la zona central.

Las áreas con tonos naranjas y rojos se ubican principalmente hacia el sector sur y suroccidental, lo que mantiene la tendencia espacial observada en días anteriores.

Día 10 (Temperatura entre 22°C y 23°C)

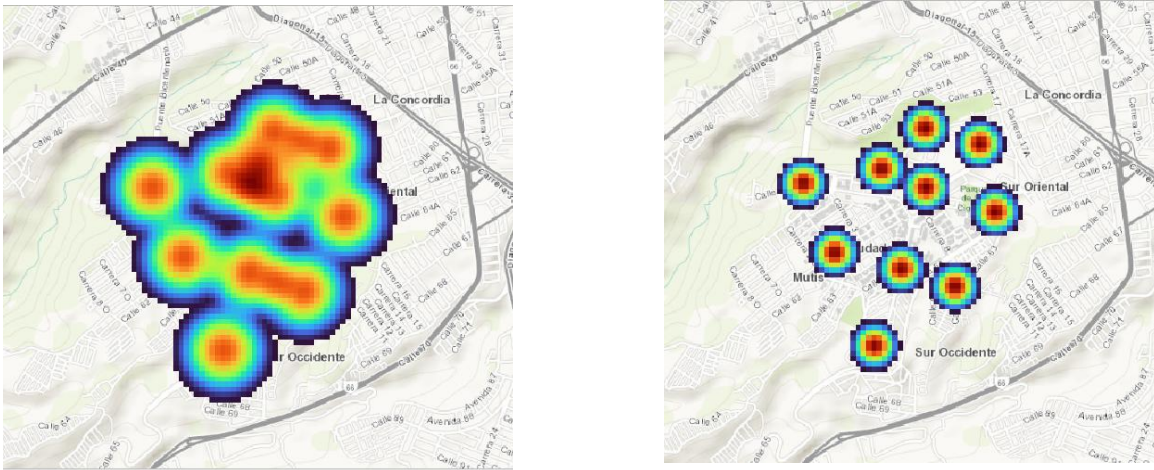
Ilustración 33 Método IDW Día 10 (Temperatura entre 22°C y 23°C)



Fuente: Autores

Este día presenta una disminución significativa en la temperatura, evidenciada por el predominio del tono rojo en la mayor parte del área de estudio, lo cual indica mayor presencia de temperaturas altas para este día. Los tonos amarillos y verdes aparecen de forma reducida, indicando las variaciones térmicas entre los dos polos de temperatura. El tono azul sigue marcando valores bajos hacia la parte nororiental de la comuna.

Ilustración 34 Estimación de núcleos (método Kernel) Día 10 (Temperatura entre 22°C y 23°C)



Fuente: Autores

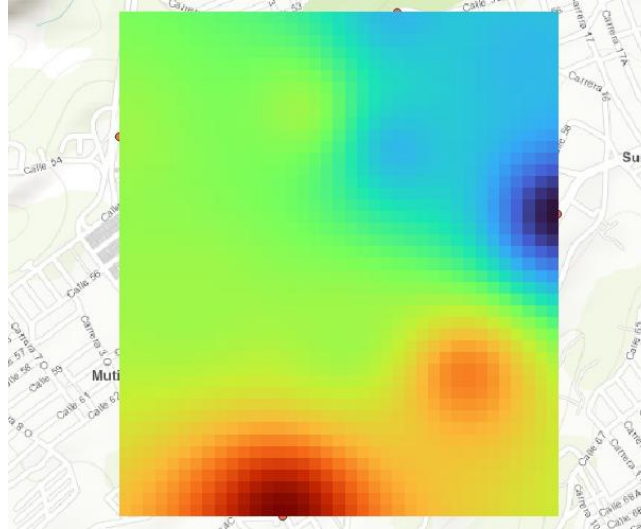
En el método de interpolación mediante mapa de calor se generaron dos representaciones utilizando radios de 300 m y 150 m. En este método, cada punto de control funciona como un núcleo de calor, desde el cual los valores se expanden radialmente hacia las zonas cercanas, disminuyendo gradualmente con la distancia.

En el mapa con radio de 300 m, las áreas de influencia de los puntos tienden a superponerse, formando superficies continuas de temperatura. Esto se observa principalmente en la zona norte, donde los tonos rojos y naranjas se unen, lo que indica cercanía entre los puntos de control y una mayor concentración de valores altos. En contraste, el mapa con radio de 150 m presenta zonas de calor más localizadas, generando pequeñas “islas” alrededor de cada punto de medición.

Por su parte, los tonos azules y verdes representan valores más bajos o áreas con menor influencia de los puntos, lo que sugiere que una mayor densidad de datos permitiría obtener una representación espacial más precisa.

Día 11 (Temperatura entre 24°C y 28°C)

Ilustración 35 Método IDW Día 11 (Temperatura entre 24°C y 28°C)

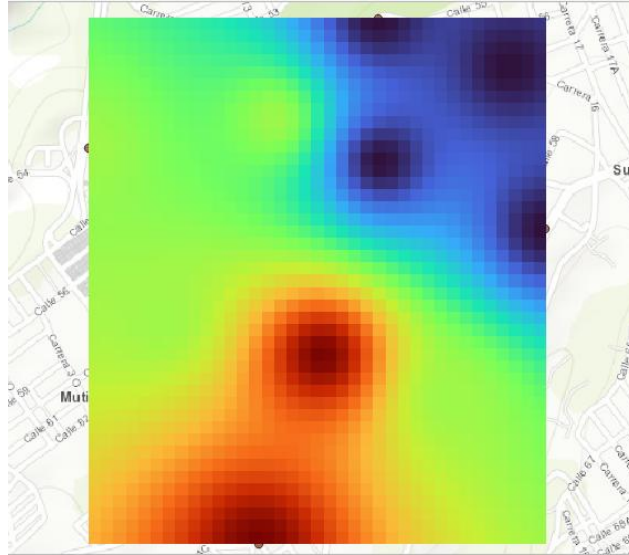


Fuente: Autores

El comportamiento espacial de la temperatura presenta características similares a las tendencias en los días 3. Se mantienen valores bajos de temperatura sobre la zona nororiental, y los valores más altos tienden a ubicarse sobre la zona sur. Los tonos verdes y amarillos dominan la zona central con una gran participación sobre la totalidad del mapa, estos colores muestran una transición gradual entre las áreas frías y cálidas e indican que ese día la temperatura media fue notoriamente predominante.

Día 12 (Temperatura entre 25°C y 27°C)

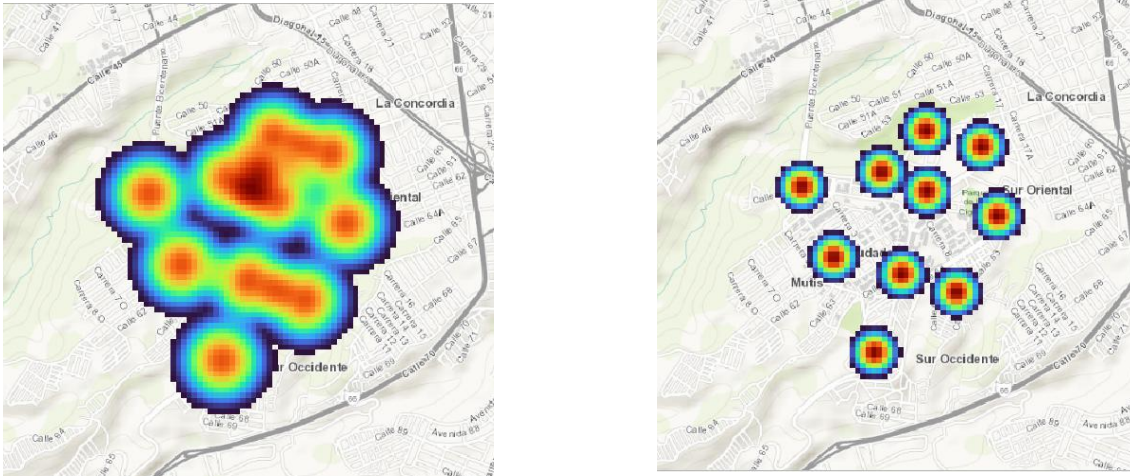
Ilustración 36 Método IDW Día 12 (Temperatura entre 25°C y 27°C)



Fuente: Autores

El comportamiento espacial de la temperatura presenta características similares a las tendencias en los días 3 y 11. Se mantienen valores bajos de temperatura sobre la zona nororiental, y los valores más altos tienden a ubicarse sobre la zona sur. Los tonos verdes y amarillos dominan la zona central con una gran participación sobre la totalidad del mapa, estos colores muestran una transición gradual entre las áreas frías y cálidas e indican que ese día la temperatura media fue notoriamente predominante.

Ilustración 37 Estimación de núcleos (método Kernel) Día 12 (Temperatura entre 25°C y 27°C)



Fuente: Autores

En el método de interpolación mediante mapa de calor se generaron dos representaciones utilizando radios de 300 m y 150 m. En este método, cada punto de control funciona como un núcleo de calor, desde el cual los valores se expanden radialmente hacia las zonas cercanas, disminuyendo gradualmente con la distancia.

En el mapa con radio de 300 m, las áreas de influencia de los puntos tienden a superponerse, formando superficies continuas de temperatura. Esto se observa principalmente en la zona norte, donde los tonos rojos y naranjas se unen, lo que indica cercanía entre los puntos de control y una mayor concentración de valores altos. En contraste, el mapa con radio de 150 m presenta zonas de calor más localizadas, generando pequeñas “islas” alrededor de cada punto de medición.

Por su parte, los tonos azules y verdes representan valores más bajos o áreas con menor influencia de los puntos, lo que sugiere que una mayor densidad de datos permitiría obtener una representación espacial más precisa.

5.3. Comparación de Métodos

Ilustración 38 Método IDW – Método Kernel

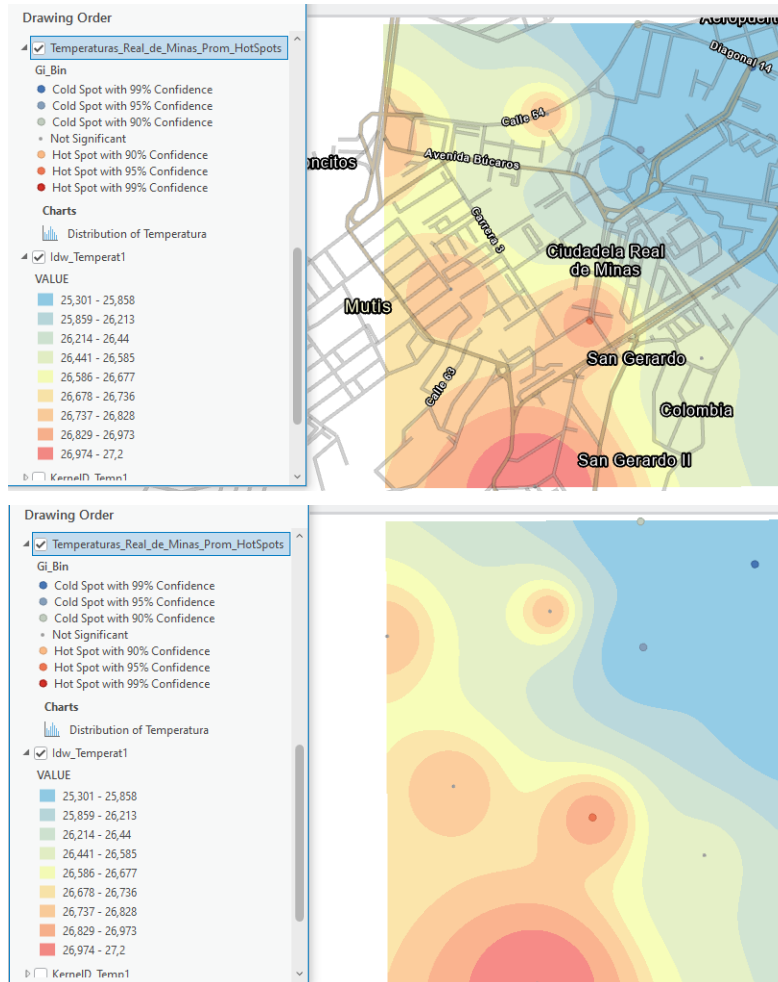


Fuente: Autores

Se evidencia una correspondencia espacial entre los resultados obtenidos mediante el método de densidad Kernel y la interpolación por distancia inversa (IDW). Al superponer ambas superficies, se observa que los núcleos de calor identificados por el método Kernel coinciden con las zonas de mayor intensidad estimadas por IDW, lo que sugiere la presencia de patrones consistentes en la distribución de la variable analizada.

Esta coincidencia refuerza la validez de los resultados, indicando que las áreas identificadas como islas de calor no son producto de un método particular, sino que representan concentraciones espaciales reales dentro del área de estudio.

Ilustración 39 Método IDW – Método HotSpot



Fuente: Autores

En estos dos métodos se evidencia una correspondencia espacial entre los resultados obtenidos. Al superponer ambas superficies, se observa que los Clustered estadísticos fríos (Cold) y calientes (Hot) identificados por el método HotSpots coinciden con las zonas de mayor y menor temperatura estimadas por IDW, y su tendencia de aumento de temperatura en la zona de estudio, lo que sugiere la presencia de patrones consistentes en la distribución de la variable analizada.

Estos resultados mantienen la dirección de distribución de los datos, en donde el área fría se ubica en la parte nor-oriental de la zona de estudio, y aumenta pasando al área cálida ubicada en la parte sur- occidental.

5.4. Análisis aéreo de la zona de estudio.

Ilustración 40 Ortofoto



Fuente: Autores

La ortofoto del sector Ciudadela Real de Minas, muestra un área urbana bien consolidada, con una alta ocupación del suelo y una mezcla de usos residenciales, institucionales y recreativos. La organización del territorio se caracteriza por conjuntos de vivienda continuos, una red vial estructurada y una distribución variable de zonas verdes.

En cuanto a los aspectos ambientales, se destacan áreas con mayor cobertura vegetal hacia los sectores norte y nororiental, así como espacios públicos en la zona central, como parques y una glorieta ajardinada. Estas zonas contrastan con sectores de alta densidad constructiva, como Ciudadela Real de Minas, San Gerardo y San Gerardo II ubicadas hacia los sectores sur y suroccidente, donde predominan edificaciones agrupadas y superficies impermeables. La zona sur y suroccidente destaca por varios factores vitales que pueden relacionar los altos índices de temperatura:

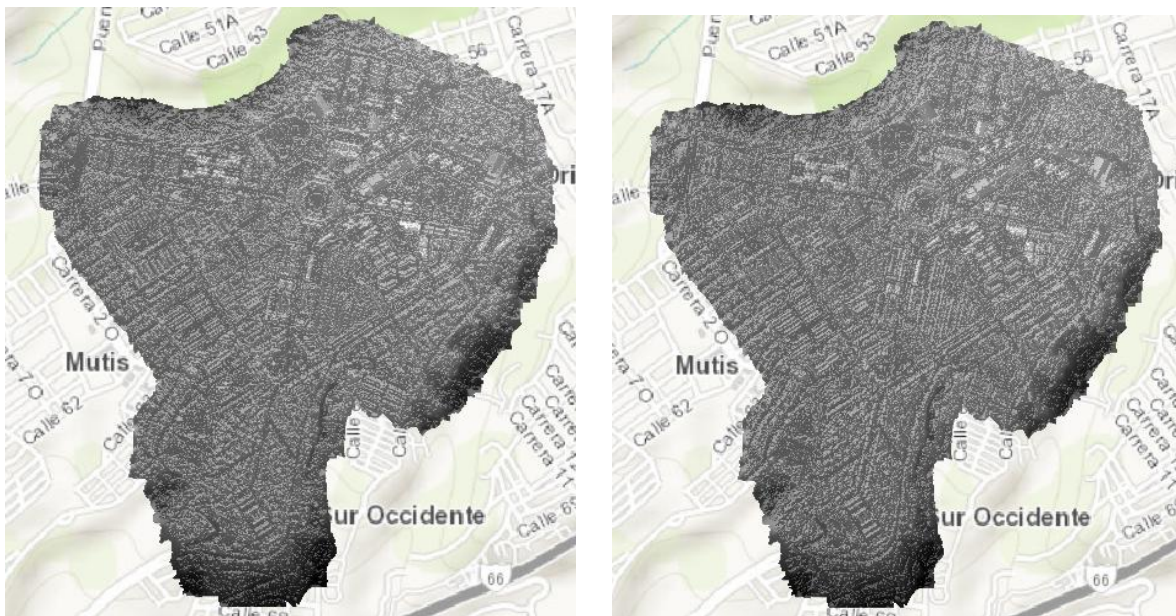
- hacia esta zona se presenta una altitud más baja, debido a que su dirección va hacia el municipio de Girón , el cual presenta temperaturas más altas,
- además, esta zona posee menos parques y zonas verdes, junto con una alta densidad de construcción, así como vías vehiculares y peatonales, producto de la característica constructiva de la zona, donde el tipo de construcción ha sido más libre y menos planificada, omitiendo áreas verdes y parques,
- por último, el núcleo que más destaca por sus altos niveles térmico, se ubica a pocos metros de la subestación eléctrica Real de Minas, lo que puede ser un factor clave en este punto, además de su cercanía con la Transversal Metropolitana, la cual mueve un alto flujo vehicular que va dirigido hacia el municipio de Girón

Al relacionar estas características con los resultados obtenidos mediante los métodos de interpolación IDW, densidad Kernel y HotSpot, se observa una clara

coincidencia entre las zonas más densamente construidas y los núcleos de calor identificados. En contraste, las áreas con mayor presencia de vegetación tienden a presentar temperaturas más bajas.

En este sentido, se puede afirmar que la forma en que está organizado el territorio influye directamente en la distribución de las islas de calor, lo que resalta la importancia de integrar la vegetación y una adecuada planificación urbana como estrategias para mejorar las condiciones térmicas en este tipo de entornos.

Ilustración 41 Modelo Digital de Terreno.



Fuente: Autores

En el anterior modelo digital de Terreno obtenido del vuelo, se puede apreciar de manera más dimensionada la distribución de las construcciones y espacios públicos en el área de estudio. Para poder analizar con más detalle la zona, se realizaron un mapa de sombras con ángulo de 0° y 315° con el fin de obtener dos focos de análisis. En ambas representaciones los colores más blancos hacen referencia a

zona y puntos más altos, y los tonos oscuros a zonas más bajas. De ello se puede concluir que la zona con edificaciones más altas se encuentra sobre la parte norte y nororiental, que corresponde al área con menores valores térmicos. Los bajos valores en este sector se debe a la directa relación de las zonas verdes ubicadas allí.

Los valores de temperatura más altos se encuentran hacia la parte sur y suroccidente, donde la información del modelo nos muestra alturas más bajas, lo que tiene directa relación con la mayor densidad de construcción y pocas áreas verdes obtenidas de los modelos y el análisis de la ortofoto.

5.5. Metodología para diseñar Islas de Calor

Para poder llevar a cabo el diseño y determinación de un mapa de islas de calor se debe llevar a cabo el siguiente procedimiento:

1. **Recolección de datos en campo:** en este punto se determinan los puntos estratégicos dentro de la zona de estudio, con una distribución espacial homogénea para la toma de las muestras. Se pueden usar aplicaciones de temperatura, o termómetros de temperatura ambiente.
2. **Tiempo de muestreo:** cuanto mayor sea la cantidad de datos, se puede tener mayor veracidad en la tendencia de los datos a lo largo del tiempo.
3. **Análisis exploratorio de los datos:** este análisis permite ubicar al autor sobre la tendencia, variaciones, cambios y posibles resultados del trabajo, los procesos como: QQPlot, malla de datos, vecino más cercano, voronoi, distribución de los datos, histograma, medidas de tendencia central y medidas de dispersión genera que el autor acceda a información preliminar sobre el estudio a ejecutar.

4. Aplicación de los métodos: esta sección permite comparar los 3 métodos usados y definir los principales hallazgos vistos. Para el uso de estos métodos se tiene en cuenta lo siguiente: la metodología IDW permite observar superficies térmicas continuas (gradiente térmico). El método de Kernel muestra núcleos de calor basado en las intensidades de las concentraciones térmicas; y por último, el método de HotSpot genera Clustered estadísticos, es decir, analiza la significancia de las temperaturas basándose el análisis estadísticos. Para poder definir islas de calor el método más ideal es el de IDW, el cual se puede acompañar con las demás metodologías para comparar y verificar las tendencias de los datos analizados.

6. CONCLUSIONES

El desarrollo del análisis permitió identificar que la distribución de la temperatura en el sector de Real de Minas no es homogénea, sino que responde a las características propias del uso del suelo y la configuración urbana.

Se comprobó la utilidad de la distribución espacial homogénea y aplicaciones como Termómetro++ para el análisis de este tipo de fenómenos, facilitando la integración de la información y la generación de resultados con alto nivel de detalle.

La aplicación de los métodos de interpolación IDW, densidad Kernel y análisis Hot Spot permitió identificar patrones espaciales consistentes, observándose una correspondencia entre las zonas de mayor intensidad térmica y los núcleos de concentración detectados. El uso combinado de estas metodologías fortaleció la confiabilidad de los resultados, al permitir su comparación y validación.

El estudio y análisis de los métodos permitió establecer una metodología aplicable a entornos urbanos, donde los resultados obtenidos de estos procesos, presentan correlación entre sí, contribuyendo al entendimiento y relación del comportamiento de las islas de calor.

Se evidenció que las zonas con mayor concentración de edificaciones, presencia de materiales impermeables y escasa cobertura vegetal tienden a registrar valores térmicos más elevados, configurando áreas que pueden ser interpretadas como islas de calor. Por el contrario, los espacios con mayor presencia de vegetación y áreas abiertas presentan condiciones térmicas más favorables.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar la cantidad de datos recolectados en campo, tanto en número de puntos como en frecuencia temporal, con el fin de mejorar la precisión del análisis y obtener resultados más representativos.

Asimismo, sería pertinente incorporar información multitemporal que permita evaluar la evolución del fenómeno de las islas de calor en el tiempo y su relación con el crecimiento urbano.

Se sugiere complementar el estudio con otros indicadores ambientales, como índices de vegetación o análisis de cobertura del suelo, que permitan profundizar en la relación entre las condiciones físicas del territorio y la temperatura.

Desde una perspectiva aplicada, es recomendable promover estrategias de planificación urbana orientadas a la mitigación del fenómeno, tales como el aumento de áreas verdes, la implementación de corredores ecológicos y el uso de materiales constructivos que reduzcan la acumulación de calor.

Finalmente, se plantea continuar con el desarrollo de metodologías basadas en tecnologías geoespaciales, incorporando nuevas fuentes de información y herramientas de análisis que fortalezcan la gestión ambiental en contextos urbanos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Navarrete López, G., Hernández González, J., Capelli de Steffens, A., & Piccolo, M. C. (2001). *Isla de calor urbana estival en la ciudad de Temuco, Chile*. Universidad de Murcia. DIGITUM. <http://hdl.handle.net/10201/3493>

Rasilla, D. F., Allende Álvarez, F., & Fernández García, F. (2016). Isla de calor urbana en Madrid durante julio de 2015. En *X Congreso de la Asociación Española de Climatología. Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio* (pp. 473–484). Universidad de Cantabria. UCrea. <https://hdl.handle.net/10902/31262>
<https://doi.org/10.14198/XCongresoAECAlicante2016-54>

Molina, J. C., & Gamboa, J. R. (2008). Isla de calor urbana y su relación con índices urbanísticos en el Gran San Juan. En VII Encuentro de Geógrafos de América Latina (pp. 1–15). Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/93445>

Cúnsulo, M., Kurbán, A., Papparelli, A. H., & Montilla, E. (2013). *Determinación de la isla de calor urbana en la ciudad de San Juan utilizando imágenes satelitales Landsat 5 TM+* [Artículo]. Universidad Nacional de La Plata. SEDICI Repositorio Institucional. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/147332>

Morales Méndez, C. C., Madrigal Uribe, D., & González Becerril, L. A. (2007). *Islas de calor en la ciudad de Toluca*. Universidad Autónoma del Estado de México. Redalyc. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10414308>

Suazo, J. M. A., Rojas, J. L. F., & Karam, H. A. (2020). Estimación de la Intensidad de la Isla de Calor Urbano Superficial (IICUS) en tres áreas metropolitanas de África utilizando métodos Gaussianos y de Quantis (2001–2016). *Anuário do Instituto de Geociências*, 43(3), 498–510. Universidade Federal do Rio de Janeiro. <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/35930>

Angeles Suazo, J. M., Angeles Vasques, R. J., Flores Rojas, J. L., & Abi Karam, H. (2019). Isla de calor urbano superficial (SUHI) para el área metropolitana de Iquitos, Perú, 2001–2016. *Revista Peruana de Geo-Atmosférica*, 1(1), 135–145. Instituto Geofísico del Perú. https://doi.org/10.11137/2019_1_135_145

Bustamante Campoverde, A. S. (2017). *Incidencia de la morfología urbana en la isla de calor urbano: comparación de seis cañones urbanos del centro histórico de Cuenca* [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca]. Repositorio Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27976>

Guillén Mena, V., & Orellana Valdez, D. (2017). Análisis de la variación térmica y zonas climáticas en la ciudad de Cuenca. *Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO Andes)*. <http://hdl.handle.net/10469/15805>

Angeles Suazo, J., Flores Rojas, J. L., Vásquez, R. A., & Karam, H. A. (2021). Estimación de la Intensidad de Isla de Calor Urbano Superficial (SUHI) en el Área Metropolitana de Cuzco (2001–2016) mediante métodos de Streutker y de cuantiles. *Prisma Tecnológico*, 12(2), 31–45. Universidad Tecnológica de Panamá. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/2565>

Araiza-Olivares, G. A. (2022). Isla de calor urbano en la Ciudad de México, 1950–2010. *Revista Geográfica de América Central*, (68), 1–21. Universidad Nacional de Costa Rica. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/15297>

Mendonça, M., & Lombardo, M. A. (2009). Ilhas de calor na conurbação de Florianópolis. *Revista de Geografia Norte Grande*, (43), 55–70. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022009000300007>

Papparelli, A., Kurbán, A., & Cúnsulo, M. (2013). Isla de calor urbana y ocupación edilicia: evolución en el Gran San Juan (Argentina) entre 1995 y 2010. *Cuadernos*

de *Vivienda y Urbanismo*, 7(14), 270–285. Pontificia Universidad Javeriana.
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu4-7.icoe>

Martínez Osorio, A. (2017). *Climatopos urbanos y su relación con el fenómeno de isla de calor urbana en el Valle de Aburrá* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59963>

Papparelli, A., Kurbán, A., & Cúnsulo, M. (2013). Variación histórica y espacial de la isla de calor urbana en zona árida. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 6(11), 178–195. Pontificia Universidad Javeriana. <http://hdl.handle.net/10554/25154>

Tique Pinzón, Y. P. (2022). *Análisis de la cobertura terrestre y temperatura superficial mediante sensores remotos como apoyo en la gestión del territorio* [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional Universidad Distrital. <http://hdl.handle.net/11349/34895>

Gualdrón Díaz, L. A. (2023). *Análisis de imágenes satelitales y propuesta de materiales para mitigar islas de calor urbano en Bucaramanga* [Tesis de maestría, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <http://hdl.handle.net/11634/48514>

Referencias marco legal

Constitución Política de Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4125>

Ley 99 de 1993. *Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente*. Congreso de la República de Colombia.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Política Nacional de Cambio Climático*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/9.-Politica-Nacional-de-Cambio-Climatico.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos*.

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Poli%CC%81tica-Nacional-de-Gestio%CC%81n-Integral-de-la-Biodiver.pdf>

Ley 388 de 1997. *Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989 y la Ley 2 de 1991*. Congreso de la República de Colombia.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>

Decreto 1076 de 2015. (2015). *Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Recuperado de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)*. Recuperado de

<https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/politica-nacional-para-la-gestion-integral-de-la-biodiversidad-y-sus-servicios-ecosistemicos/>

Organización de las Naciones Unidas. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Alcaldía de Bucaramanga. (s. f.). *Plan de Ordenamiento Territorial — Bucaramanga*.

<https://www.bucaramanga.gov.co/bucaramanga-avanza/plan-de-ordenamiento-territorial/>

Referencia marco conceptual

Oke, T. R. (1987). *Boundary Layer Climates* (2nd ed.). Routledge.

file:///C:/Users/vs441/Downloads/10.4324_9780203407219_previewpdf.pdf

Landsberg, H. E. (1981). *The Urban Climate*. Academic Press.

<https://archive.org/details/urbanclimate0000land>

Howard, L. (1833). *The Climate of London*. Harvey and Darton.

https://www.researchgate.net/publication/292141041_The_Climate_of_London_by_Luke_Howard_1833

Gualdrón Díaz, A. (2023). *Análisis de islas de calor urbano en la ciudad de Bucaramanga mediante teledetección*. Universidad Tecnológica de Santander.

<http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/12040>

Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons.

https://samv.elearning.unipd.it/pluginfile.php/12920/mod_folder/content/0/landscape%20ecology.pdf

Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756–760.

<https://doi.org/10.1126/science.1150195>

Goodchild, M. F. (2000). *GIS and the Environment: Principles and Applications*. Environmental Modelling & Software, 15(3), 251–254.

<https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>

Jensen, J. R. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective* (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.

https://www.academia.edu/2969968/Remote_Sensing_of_the_Environment_An_Earth_Research_Perspective_2_e

ONU-Hábitat. (2020). *Ciudades y Cambio Climático: Informe Global sobre Asentamientos Humanos 2020*. Naciones Unidas. <https://unhabitat.org/es>

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>

Landsberg, H. E. (1981). *The Urban Climate*. Academic Press. [https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=zKkHiEXZGBIC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Landsberg,+H.+E.+\(1981\).+The+Urban+Climate.+Academic+Press.&ots=-m29WBwyQ9&sig=WfUkhagfK1kH1cOMHau6UUJLnX8#v=onepage&q=Landsberg%2C%20H.%20E.%20\(1981\).%20The%20Urban%20Climate.%20Academic%20Press.&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=zKkHiEXZGBIC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Landsberg,+H.+E.+(1981).+The+Urban+Climate.+Academic+Press.&ots=-m29WBwyQ9&sig=WfUkhagfK1kH1cOMHau6UUJLnX8#v=onepage&q=Landsberg%2C%20H.%20E.%20(1981).%20The%20Urban%20Climate.%20Academic%20Press.&f=false)

Gualdrón Díaz, L. A. (2023). *Análisis de imágenes satelitales y propuesta de materiales para mitigar islas de calor urbano en Bucaramanga* [Tesis de maestría, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <http://hdl.handle.net/11634/48514>

Oke, T. R. (2002). *Boundary Layer Climates* (2nd ed.). Routledge. [file:///C:/Users/vs441/Downloads/10.4324_9780203407219_previewpdf%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/vs441/Downloads/10.4324_9780203407219_previewpdf%20(1).pdf)

Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. *Science of The Total Environment*, 512–513, 582–598. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.060>

Martínez Osorio, A. (2017). *Climatopos urbanos y su relación con el fenómeno de isla de calor urbana en el Valle de Aburrá* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59963>

Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335–344. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007>

Tomlinson, R. (2013). *Thinking about GIS: Geographic Information System Planning for Managers* (5th ed.). ESRI Press. <https://www.e-education.psu.edu/geog583/sites/www.e-education.psu.edu/geog583/files/Thinking%20About%20GIS-Tomlinson.pdf>

esri. (s.f.). *Cómo funciona la densidad kernel*. Obtenido de esri:
<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm>

Geo innova. (15 de junio de 2020). *Análisis de Hotspots y Clústeres en QGIS3 con Hotspot analysis*. Obtenido de Geo innova: <https://geoinnova.org/blog-territorio/analisis-de-hotspots-y-clusteres-en-qgis3-con-hotspot-analysis/>

Geo innova. (07 de diciembre de 2020). *Interpolación mediante distancia inversa (IDW) en QGIS*. Obtenido de Geo innova: <https://geoinnova.org/blog-territorio/interpolacion-mediante-distancia-invera-idw-en-qgis/>

F-DC-125

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO**

VERSIÓN: 2.0

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

9. ANEXOS

La sección de anexos será usada para presentar información que los autores y el director consideren importante, como el caso de: manuales de usuario, hojas de datos, guías de laboratorio, demostraciones matemáticas, diseños esquemáticos, cartografía, entre otros.

Cada Anexo debe estar identificado por una letra (A –Z), la cual será usada para diferenciar las figuras, tablas y ecuaciones que se encuentren en estas secciones.

Instructivo General¹

Apreciado Estudiante: Lea cuidadosamente este instructivo general y elimínelo una vez termine de elaborar el informe final.

Estilo:	APA, 6ta edición, como se describe a continuación
Tamaño del papel:	Carta (letter) / papel 21.59 cm x 27.94 cm (8 1/2" x 11").
Márgenes:	2.54 en cada borde. El formato ya está configurado con estos márgenes. Por favor no los modifique.
Sangría:	Cinco (5) o 0,5cm desde la pestaña diseño de Word, solo al inicio de cada párrafo y al inicio de las notas al pie de página. Importante que en todas las páginas quede igual la sangría, para ello se sugiere usar tabulador. No lleva sangría: <ul style="list-style-type: none">• El texto correspondiente al resumen,• El texto del Abstract• Las citas en bloque• Los títulos y encabezados• Los títulos y notas de tablas• Los pies de figuras o gráficas, ilustraciones, mapas
Fuente:	Arial, tamaño: 12, en todo el documento, desde la portada hasta las referencias bibliográficas y los anexos.
Numeración de páginas (Paginación):	La paginación se inicia desde la portada, en forma consecutiva hasta el final. Se incluye en la esquina superior derecha de la hoja. La plantilla ya está numerada, no la modifique.
Texto:	Justificado (APA sugiere alineado a la izquierda, pero se adopta justificado).
Interlineado:	1.5 en párrafos (APA sugiere 2.0, pero se adopta 1.5).

¹ Información tomada del Manual APA 6ª (sexta) Edición. Para complementar información se recomienda consultar en la página de la organización <http://www.apastyle.org/>

Listas especiales:

Tablas: La American Psychological Association (p. 130), sugiere cuando sea conveniente diseñar tablas para incluir en el documento, es importante definir y estructurar los datos que los interesados en el tema, requerirán para comprender la explicación.

Figuras: “se pueden utilizar muchos tipos de figuras” (Manual de la APA, 2010, p. 153). Los más comunes son: gráficas, diagramas, Mapas. Dibujos y fotografías. Se incluyen, cada figura, en una página separada, al final del documento, después de las tablas o después de las referencias (<https://apastyle.apa.org/manual/new-7th-edition>)).

Las tablas, imágenes y figuras: Todas elaboradas, bajo APA

Apéndice:

Los apéndices son una sección opcional del trabajo en donde se incluye información o documentación que permite complementar y que no se puede incorporar en el cuerpo del trabajo. Esta sección se ubica al final de del manuscrito antes de los anexos.

Anexos:

Los anexos serán usados para presentar información que los autores y el director consideren importante, como el caso de: manuales de usuario, hojas de datos, guías de laboratorio, demostraciones matemáticas, diseños esquemáticos, cartografía, entre otros. Esta sección se ubica al final de todo el manuscrito y es allí donde se pueden incorporar materiales de estímulo, tablas y/o figuras (Manual APA 6ª (sexta) edición. Disponible en <http://www.apastyle.org/> y <https://normasapa.net/tablas-figuras-y-apendices/>

F-DC-125

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPREDIMIENTO Y SEMINARIO**

VERSIÓN: 2.0

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

- Textos escritos en gris:** Se sobre escribe sobre éste en color negro la información solicitada, cuando se refirieren al título o datos de la portada o contraportada. Si se trata de una instrucción se elimina y se escribe el contenido que corresponda.
- Texto escrito en negro (en la plantilla):** No se modifica. Se dejan como están.
- Páginas de Dedicatoria y Agradecimientos:** Son opcionales.
- Hoja de Aceptación:** Se debe diligenciar completamente por los jurados (evaluadores, directores).
- Recomendación:** Por favor no modificar el formato de la plantilla y aplicar correctamente la norma APA.

Referencias

American Psychological Association. *APA Style*. Recuperado de <http://www.apastyle.org/>.

American Psychological Association (2010). *Manual de Publicaciones* (3a. ed.). México:

Nota: No olvide eliminar este instructivo y entregar solo el informe en la plantilla inicial de este documento

AYUDAS PARA LA PRESENTACIÓN DEL DOCUMENTO

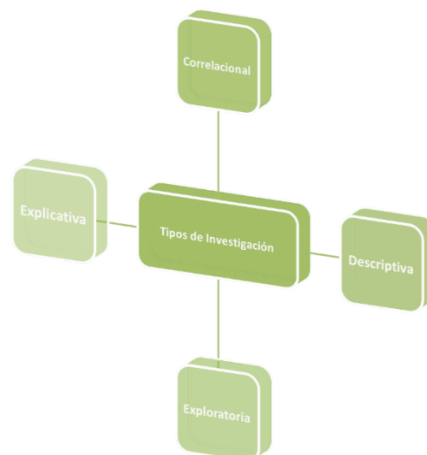
Esta sección del documento es de orientación para la elaboración del documento, **debe eliminarla** cuando genere la versión final. De igual manera, **debe eliminar** todas las instrucciones que contiene esta plantilla, que por lo general las encontrará como texto en color gris.

Recuerde que se debe tener especial cuidado en la redacción del texto del documento, este se debe redactar de manera formal en **tercera persona** y no en primera persona o de manera informal, no se permiten textos como: "nosotros esperamos que", en su lugar se debe usar: "se espera por parte de los autores que...", igualmente se debe evitar el uso de gerundios, por ejemplo: estudiando el tema, en su lugar: estudiado el tema.

Las tablas, figuras, gráficas, esquemas, entre otros, deben tener nombre y fuente, a continuación, se presenta el ejemplo:

Ejemplo de imagen

Figura 1. Tipos de Investigación



Fuente: Autor

Ejemplo de tabla

Para el texto en el interior de la tabla deberá utilizarse fuente tipo Arial a 10 puntos con interlineado sencillo. Utilice el mismo formato para todas las tablas para dar uniformidad al documento.

Tabla 2

Descripción de la primera fase del estudio metodológico para construir un software en lenguaje Java

Tipo	Elementos
Actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad 1 • Actividad 2 • Actividad 3 • Actividad 4 • Sitio de trabajo
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Conexión a internet • Computador • Programas del computador • Navegador Web • Word • Excel
Resultados	<p>Conocimiento y fortalecimiento del paradigma de la programación orientada a objetos, sus características, alcance, técnicas de desarrollo, métodos y funciones entre otros campos vinculados con esta misma.</p>

Nota: Tabla elaborada por el autor a partir de análisis sobre diseño de software.