



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Incidencia de la morfología de la ciudad en la Isla de Calor
Urbana en Valencia

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Transporte, Territorio y Urbanismo

AUTOR/A: Fernández Garza, Ana Gabriela

Tutor/a: Gielen, Eric Madeleine Pierre

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Curso 2022/2023

Incidencia de la morfología de la ciudad en la Isla de Calor Urbana en Valencia.

**Para la obtención del: Máster Universitario en Transporte,
Territorio y Urbanismo**

Presentado por: Ana Gabriela Fernández Garza

Tutor: Eric Gielen

Valencia, España

Fecha: 20/03/2023



Índice

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	13
1.1.1 <i>El problema específico</i>	13
1.1.2 <i>Antecedentes</i>	16
1.1.3 <i>Objetivo general</i>	20
1.1.4 <i>Objetivos específicos</i>	20
1.1.5 <i>Hipótesis</i>	21
1.2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	21
1.2.1 <i>Ámbito</i>	21
1.2.2 <i>Climatología</i>	24
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	27
2.1 ISLAS DE CALOR URBANAS (ICU).....	27
2.2 SENSOR ASTER DEL SATÉLITE “TIERRA”.....	31
2.3 TEMPERATURA SUPERFICIAL (TS) DEL SUELO.....	34
2.3.1 <i>Emisividad</i>	38
2.3.2 <i>Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)</i>	42
2.3.3 <i>Fracción de Vegetación</i>	43
2.4 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA CIUDAD.....	44
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	47
3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO GENERAL.....	47
3.2 ALCANCE.....	49
3.3 CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....	49
3.4 SELECCIÓN DE LAS IMÁGENES ASTER.....	50
3.5 CÁLCULO DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL (TS).....	51
3.6 ANÁLISIS DE LAS ICU.....	53
3.7 ANÁLISIS DE LOS PUNTOS CALIENTES Y FRÍOS EN SU RELACIÓN CON LAS CATEGORÍAS DE CUBIERTAS DEL SUELO.....	56
3.8 ANÁLISIS DE LAS ICU Y SU RELACIÓN CON LA MORFOLOGÍA DE LA CIUDAD.....	59
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	68



4.1	ISLAS DE CALOR URBANA.....	68
4.2	INFLUENCIA DE LOS USOS DEL SUELO EN LA TEMPERATURA	76
4.3	PERFILES DE TEMPERATURA.....	88
4.4	INFLUENCIA DE LA MORFOLOGÍA URBANA EN LA TEMPERATURA	94
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		101
5.1	CONCLUSIONES.....	101
5.2	RECOMENDACIONES	106
5.2.1	<i>Limitaciones y futuras líneas de investigación.....</i>	<i>107</i>
CAPÍTULO 6. REFERENCIAS		109

Índice de anexos

ANEXO 1. MAPAS DEL CLIMA URBANO (MCU) Y DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS ESTUDIADAS.....	117
ANEXO 2. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030	130

Índice de figuras

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE ZONA DE ESTUDIO.....	22
FIGURA 2. ZONA DE ESTUDIO.....	22
FIGURA 3. CUBIERTAS DEL SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	24
FIGURA 4. TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA PROMEDIO EN VALENCIA	25
FIGURA 5. HORAS DE LUZ NATURAL Y CREPÚSCULO EN VALENCIA	26
<i>FIGURA 6. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS ISLAS DE CALOR URBANAS</i>	<i>28</i>
<i>FIGURA 7. ESQUEMA DEL FENÓMENO DE LAS ISLAS DE CALOR URBANAS.....</i>	<i>29</i>
FIGURA 8. SATÉLITE TERRA Y UBICACIÓN DEL SENSOR ASTER	33
FIGURA 9. PORCENTAJE DE REFLEXIÓN DE LAS DIFERENTES SUPERFICIES Y SU RELACIÓN CON LAS LONGITUDES DE ONDA	34
FIGURA 10. ESQUEMA METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN CON SUS DISTINTAS FASES	48
FIGURA 11. RESOLUCIÓN ESPECTRAL (MICRÓMETRO) DEL ASTER Y LANSDAT.....	51
FIGURA 12. PERFIL 1	60
FIGURA 13. PERFIL 2	60
FIGURA 14. PERFIL 3	61
FIGURA 15. IMAGEN ASTER REPRESENTACIÓN DE LA BANDA 13 DEL 16 DE MARZO DEL 2017 DE LA NOCHE	69



FIGURA 16. IMAGEN ASTER REPRESENTACIÓN DE LA BANDA 13 DEL 25 DE MARZO DEL 2017 DEL DÍA	69
FIGURA 17. IMAGEN ASTER REPRESENTACIÓN DE LA BANDA 13 DEL 19 DE AGOSTO DEL 2018 DEL DÍA.....	70
FIGURA 18. IMAGEN ASTER REPRESENTACIÓN DE LA BANDA 13 DEL 23 DE NOVIEMBRE DEL 2018 DE LA NOCHE	70
FIGURA 19. IMAGEN ASTER REPRESENTACIÓN DE LA BANDA 13 DEL 07 DE MAYO DEL 2021 DEL DÍA	71
FIGURA 20. IMAGEN ASTER REPRESENTACIÓN DE LA BANDA 13 DEL 07 DE MAYO DEL 2021 DE LA NOCHE	71
FIGURA 21. TEMPERATURA SUPERFICIAL (TS) EN °C: A. 25/03/2017 DÍA; B. 16/03/2017 NOCHE, C. 19/08/2018 DÍA, D. 23/11/2018 NOCHE, E. 07/05/2021 DÍA Y F. 07/05/2021 NOCHE.	74
FIGURA 22. CONCENTRACIÓN DE LOS PUNTOS DE CALOR Y LA DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS (A. 25/03/2017 DÍA, B. 16/03/2017 NOCHE, C. 19/08/2018 DÍA, D. 23/11/2018 NOCHE, E. 07/05/2021 DÍA Y F. 07/05/2021 NOCHE)	75
FIGURA 23. MEDIA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL (TS) SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE LAS CUBIERTAS DE SUELO (A. 25/03/2017 DÍA, B. 16/03/2017 NOCHE, C. 19/08/2018 DÍA, D. 23/11/2018 NOCHE, E. 07/05/2021 DÍA Y F. 07/05/2021 NOCHE)	78
FIGURA 24. PERFIL 1. PUNTOS DE IZQUIERDA A DERECHA: 1 – HUERTA DE VALENCIA; 2 – FIN DE HUERTA DE VALENCIA; 3 – VÍAS; 4 – INICIO PARQUE RÍO TURIA; 5 – FIN DE PARQUE RÍO TURIA; 6 – PLAZA DE LA REINA; 7 – INICIO PARQUE RÍO TURIA; 8 – FIN DE PARQUE RÍO TURIA Y 9 – HUERTA DE VALENCIA	90
FIGURA 25. PERFIL 2. PUNTOS DE IZQUIERDA A DERECHA: 1 – HUERTA DE VALENCIA; 2 – INICIO PARQUE RÍO TURIA; 3 – FIN DE PARQUE RÍO TURIA; 4 – ENSANCHE; 5 – PARQUE; 6 – FIN DE PARQUE Y 7 – SUELO AL DESCUBIERTO	91
FIGURA 26. PERFIL 3. PUNTOS DE IZQUIERDA A DERECHA: 1 – HUERTA DE VALENCIA; 2 – FIN DE HUERTA DE VALENCIA; 3 – INICIO PARQUE RÍO TURIA; 4 – FIN DE PARQUE RÍO TURIA; 5 – ESTACIÓN JOAQUÍN SOROLLA; 6 – FIN ESTACIÓN JOAQUÍN SOROLLA; 7 – HUERTA DE VALENCIA; 8 – PUERTO DE VALENCIA Y 9 – FIN PUERTO DE VALENCIA	93
FIGURA 27. HISTOGRAMA DE LAS VARIABLES SELECCIONADAS SIN Y CON SU TRANSFORMACIÓN LOGARÍTMICA	97
FIGURA 28. RELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE PLANTAS Y LA DIFERENCIA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL	100
FIGURA 29. RELACIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL Y EL NÚMERO DE PLANTAS	104
FIGURA 30. RELACIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL Y LA DISTANCIA A ZONA VERDE.....	104
FIGURA 31. RELACIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL Y EL SUELO LIBRE	105
FIGURA 32. RELACIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL Y LA ZONA VERDE POR EDIFICACIÓN.....	106

Índice de cuadros

CUADRO 1. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR ASTER	32
CUADRO 2. EMISIVIDAD PARA LAS DIFERENTES SUPERFICIES DEL SUELO DETERMINADAS PARA LA CIUDAD DE ATLANTA	40
CUADRO 3. EMISIVIDAD PARA LAS DIFERENTES SUPERFICIES DEL SUELO ESTABLECIDAS EN LA CIUDAD DE DELHI	40
CUADRO 4. IMÁGENES SELECCIONADAS DEL SENSOR ASTER	50



CUADRO 5. PARÁMETROS DE ENTRADA DE LA HERRAMIENTA “SPATIAL AUTORRELATION (MORANS I)”	55
CUADRO 6. PARÁMETROS DE ENTRADA DE LA HERRAMIENTA “HOT SPOT ANALYSIS (GETIS–ORD Gi*)”	56
CUADRO 7. CLASIFICACIÓN CODIIGE DE CUBIERTAS DEL SUELO	58
CUADRO 8. VARIABLES MORFOLÓGICAS URBANAS SELECCIONADAS PARA ANALIZAR SU RELACIÓN CON LA TEMPERATURA SUPERFICIAL	62
CUADRO 9. SUELO LIBRE Y SU REPRESENTACIÓN DE VALOR MÁXIMO, MEDIO Y MÍNIMO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	62
CUADRO 10. TECHO CONSTRUIDO Y SU REPRESENTACIÓN DE VALOR MÁXIMO, MEDIO Y MÍNIMO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	63
CUADRO 11. ELEVACIÓN Y SU REPRESENTACIÓN DE VALOR MÁXIMO, MEDIO Y MÍNIMO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	64
CUADRO 12. NÚMERO DE PLANTAS Y SU REPRESENTACIÓN DE VALOR MÁXIMO, MEDIO Y MÍNIMO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	64
CUADRO 13. DISTANCIA A ZONA VERDE Y SU REPRESENTACIÓN DE VALOR MÁXIMO, MEDIO Y MÍNIMO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	65
CUADRO 14. ZONA VERDE POR EDIFICACIÓN Y SU REPRESENTACIÓN DE VALOR MÁXIMO, MEDIO Y MÍNIMO EN EL ÁREA DE ESTUDIO....	66
CUADRO 15. FECHA Y HORA DE LAS IMÁGENES SELECCIONADAS DEL SENSOR ASTER:	68
CUADRO 16. RESUMEN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL MÍNIMA, MEDIA Y MÁXIMA PARA LAS COSAS ESTUDIADOS	72
CUADRO 17. RESULTADOS DEL ÍNDICE I DE MORAN	76
CUADRO 18. TEMPERATURA SUPERFICIAL SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE CUBIERTA DE SUELO.....	79
CUADRO 19. RESULTADOS DEL ANOVA EN UNA DIRECCIÓN.....	80
CUADRO 20. RESULTADOS DE LA PRUEBA POSTERIOR “POST HOC TEST” PARA LA NOCHE DEL 16 DE MARZO DEL 2017 (A, DIFERENCIA DE LAS MEDIAS, B, P-VALOR)	82
CUADRO 21. RESULTADOS DE LA PRUEBA POSTERIOR “POST HOC TEST” PARA LA NOCHE DEL 07 DE MAYO DEL 2021 (A, DIFERENCIA DE LAS MEDIAS, B, P-VALOR)	84
CUADRO 22. RESULTADOS DE LA PRUEBA POSTERIOR “POST HOC TEST” PARA LA NOCHE DEL 07 DE MAYO DEL 2021 (A, DIFERENCIA DE LAS MEDIAS, B, P-VALOR)	86
CUADRO 23. ANÁLISIS INDIVIDUAL DE LAS VARIABLES Y LA TEMPERATURA SUPERFICIAL PARA LOS TRES CASOS ESTUDIADOS.....	94
CUADRO 24. MATRIZ DE CORRELACIONES.....	95
CUADRO 25. PRUEBA DE NORMALIDAD DE SKEWNESS (ASIMETRÍA) Y KURTOSIS	96
CUADRO 26. REGRESIÓN LINEAL DE LOS TRES CASOS DE TEMPERATURA SUPERFICIAL CON LAS VARIABLES NORMALIZADAS	98
CUADRO 27. COEFICIENTES DEL MODELO DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL 16 DE MARZO DEL 2017	98
CUADRO 28. GRADO DE RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS).....	130

Índice de mapas

MAPA 1. TEMPERATURA SUPERFICIAL (TS) EN °C DEL 25 DE MARZO DEL 2017 A LAS 10:55:00 A.M.	118
MAPA 2. TEMPERATURA SUPERFICIAL (TS) EN °C DEL 16 DE MARZO DEL 2017 A LAS 22:05:31 P.M.	119
MAPA 3. TEMPERATURA SUPERFICIAL (TS) EN °C DEL 19 DE AGOSTO DEL 2018 A LAS 10:56:10 A.M.	120



MAPA 4. TEMPERATURA SUPERFICIAL (TS) EN °C DEL 23 DE NOVIEMBRE DEL 2018 A LAS 21:59:45 P.M.	121
MAPA 5. TEMPERATURA SUPERFICIAL (TS) EN °C DEL 07 DE MARZO DEL 2021 A LAS 10:52:49 A.M.	122
MAPA 6. TEMPERATURA SUPERFICIAL (TS) EN °C DEL 07 DE MARZO DEL 2021 A LAS 21:57:25 P.M.....	123
MAPA 7. VARIABLE MORFOLOGÍCA – SUELO LIBRE	124
MAPA 8. VARIABLE MORFOLOGÍCA – TECHO CONSTRUIDO	125
MAPA 9. VARIABLE MORFOLOGÍCA – ELEVACIÓN.....	126
MAPA 10. VARIABLE MORFOLOGÍCA – NÚMERO DE PLANTAS	127
MAPA 11. VARIABLE MORFOLOGÍCA – DISTANCIA A ZONA VERDE	128
MAPA 12. VARIABLE MORFOLOGÍCA – ZONA VERDE POR EDIFICACIÓN.....	129



Índice de abreviaturas

A

AEMET: Agencia Estatal de Meteorología

AHS: Airbone Hyperspectral Scanner

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

B

BBE: High - Quality Broad Band Emissivity

$B\lambda(T)$: Longitud de onda a una temperatura

C

c: Velocidad de la luz

CODIIGE: Consejo Directivo de la Infraestructura de Información Geográfica de España

E

ES o ϵ : Emisividad Superficial

E_λ : Longitud de onda de radiación emitida

H

h: Constante de Plank

I

ICU: Isla de Calor Urbana

L

LAI: Índice de Área de Hoja



LiDAR: Light Detection and Ranging – Detección remota basado en un escáner laser

LST: Land Surface Temperatura

M

MCU: Mapas del Clima Urbano

MIR: Middle-Infrared

MoMo: Sistema de Monitorización de la Mortalidad

N

NASA: National Aeronautics and Space Administration

NCAR: National Center for Atmospheric Research

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index – Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

NIR o 3N: Near Infrared Band o Band 3N

O

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

P

Pv: Fracción de Vegetación

R

RED o 2: Red Band o Band 2

S

s: Constante de Boltzman



SCA: Single Channel Algorithms o Mono-Window Algorithms

SCP: Semiautomatic Classification Pluglin

SIOSE: Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España

SWA: Split Window Algorithms o Multi-Channel Method

SWIR: Onda Corta Infraroja - Short Wave Infrared

T

T_B: Temperatura de Brillo

TES: Temperature and Emissivity Separation

TIR: Thermal Infrared – Infrarrojas Térmicas

TISI: Temperatura Independent Separation Indices

TS: Temperatura Superficial

U

UHI: Urban Heat Islands

V

VNIR: Visible and Near Infrared - Visible e Infrarrojo Cercano

SIMBOLO

λ : Longitud de onda



Agradecimientos

Al iniciar esta aventura de estudiar la maestría en el extranjero nunca imagine lo transformador que esta experiencia se volvería en mi vida tanto en lo profesional como en lo personal. Este trabajo se logró con el apoyo de diferentes personas, cada una me apoyo de una forma u otra.

Me gustaría agradecer primero al profe Eric Gielen, por permitirme participar de la beca prácticas de empresa de la Catedra Planeta y Desarrollo Sostenible – UPV, en donde pudimos sentar las bases para este trabajo, pero sobre todo estoy agradecida por su dedicación y acompañamiento en todo el desarrollo del trabajo; siempre estaba disponible para guiarme, aconsejarme y en algunas hasta para explicarme paso a paso como hacer un procedimiento en QGIS o ArcGIS. De forma general he aprendido que hay que tener paciencia, que cuando se investiga las cosas no salen a la primera, sino que son cientos de pruebas.

También me gustaría agradecer al Departamento de Urbanismos a los profesores: Sergio Palencia, José Luis Miralles y Miguel Ángel Carrión, por permitirme compartir con ellos los almuerzos y hacerme sentir parte de un grupo.

Esta aventura no hubiera sido posible sin el apoyo y el aliento de mi familia; papi y mami les agradezco que no permitieron que mi dislexia determinara mi futuro, sino que me dieron todas las herramientas para que solo fuera una característica. A Eu, porque sé que todo está bajo control en Costa Rica y de que lo único que me tengo que preocupame es dar la mejor de mí en esta aventura. Además, estoy muy agradecida con abuela Grace por ser mi apoyo legal y financiero en este proyecto.

A lo largo del desarrollo de este proyecto también conté con el apoyo, el aliento y la paciencia de mis amigos: Ana María, Rosa, Otto, Roberto, Isis, Oriana, Laura, Jorge, Estefanía, Gisell y Jorge, los cuales tuvieron que escucharme varias veces cuando las cosas no estaban saliendo y era necesario otra forma de hacer las cosas. En especial quiero destacar la gran compañía que en esta aventura ha sido Ana María, la cual desde el día uno me ha escuchado y me ha dado su apoyo y consejo a una desconocida que con el tiempo espero haberme convertido en su mejor amiga en Valencia. También tuve el apoyo desde lejos de Sofi, Pablo, Lynch.



Resumen (Español)

Las áreas urbanas concentran el 70% de la población y por tanto son lugares claves para afrontar los retos planteados por el cambio climático. El incremento de población ha ocasionado la ampliación de la superficie construida y la reducción de los espacios libre, acentuando la temperatura de las ciudades. En este TFM, se buscó por un lado encontrar una metodología que permita estimar la Temperatura Superficial mediante imágenes de satélites con el fin de estudiar de manera sencilla y con pocos recursos las Islas de Calor Urbana (ICU), y así poder investigar la relación entre la morfología y el calor urbanos, identificando las características urbanas que ayudan a tener ciudades más resilientes al cambio climático. Para lograrlo se contó con las imágenes del satélite ASTER, la información catastral de los edificios, que permite obtener la altura, la superficie y volumen de las edificaciones, y la información LiDAR para ubicación de las zonas verdes.

Palabras clave (español)

Isla de Calor Urbana; Huella de Calor; Morfología Urbana; Teledetección; ASTER; Temperatura Superficial



Resumen (Inglés)

Urban areas concentrate 70% of the population, therefore, are key places for work through the challenges of climate change. The growth in population has caused the expansion of the built surface and the decrease of free spaces, boosting the temperature stress in the cities. This TFM seeks to find a methodology to estimating the Surface Temperature using satellite images to study the Urban Heat Islands (UHI), in a simple way and with little resources. Also, be able to investigate the relationship between urban morphology and Urban Heat. Finally, be able to identifying the urban resources: images of the ASTER satellite, the cadastral information of the building and the LiDAR information. The cadastral allows obtaining the height, surface and volume of buildings, and the LiDAR information the location of the green areas.

Palabras clave (ingles)

Urban Heat Island; Heat footprint; Urban Morphology; Remote sensing; ASTER; Surface Temperature



Capítulo 1. Introducción

1.1 Justificación

1.1.1 El problema específico

Las ciudades son el lugar en donde las personas viven, trabajan, intercambian ideas, se relajan y disfrutan. Estas contribuyen a generar aproximadamente un 60% del PIB mundial. La cantidad de personas que habitan las ciudades ha ido en aumento desde el 2007 ya que más de la mitad de la población mundial vive en las ciudades y se proyecta que este número aumente, llegando para el año 2030, 5.000 millones de personas que vivirán en las ciudades (Naciones Unidas, s.f.). Actualmente hay 1.943 áreas metropolitanas con más de 300.000 habitantes y se proyecta que para el año 2035 habrá 429 nuevas metrópolis (Amirtahmasebi, et al., 2016).

Se ha dado un aumento en la demanda de vivienda, infraestructura y servicios, lo cual ha provocado: un aumento de la contaminación del aire, el 70% de las emisiones de carbono son producidas en las ciudades, y un aumento de la Temperatura Superficial (TS) (Amirtahmasebi, et al., 2016).

El aumento de la Temperatura Superficial es ocasionado por la ampliación de la superficie construida y la reducción de las zonas verdes, en consecuencia, la temperatura de la ciudad es mayor a la de las zonas rurales. Las plantas ayudan a equilibrar el efecto al refrescar el aire, ofrecer sombra y absorber contaminantes atmosféricos (Dos Santos, et al., 2013).

En este trabajo de fin de máster, se busca encontrar una metodología que permita estimar la Temperatura Superficial mediante imágenes satelitales con el fin de estudiar de manera sencilla y con pocos recursos las Islas de Calor Urbanas (ICU), y así entender la relación de la morfología urbana con respecto a la huella de calor identificando las características urbanas que ayuden a minimizar el calor en las ciudades y plantear un modelo de ciudad que sea agradable para sus habitantes y ayude a cumplir con el Objetivo 11 de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible), ciudades y comunidades inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles y el ODS 13 Acción por el clima.



Se pretende obtener claves de diseño urbano para repensar la ciudad y la urbanización incorporando en ella acciones a favor de la adaptación y mitigación del cambio climático como una herramienta para cumplir con la sostenibilidad y no permitir que potencie los efectos negativos, obteniendo un modelo de ciudad centrada en las personas y resiliente ante el cambio climático y los eventos meteorológicos extremos como olas de calor, sequías, inundaciones y tormentas.

Uno de los eventos meteorológicos a los que se ha estado exponiendo cada vez más las ciudades en especial la ciudad en estudio, Valencia, son las olas de calor. Sumado a que la temperatura en general en las ciudades españolas ha aumentado en $0,73^{\circ}\text{C}$, se espera que en los próximos años las olas de calor sean más frecuentes e intensas. Para el caso de Valencia la temperatura general ha aumentado $1,04^{\circ}\text{C}$, basado en los datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) (Europa Press, 2021).

El Sistema de Monitorización de la Mortalidad Diaria (MoMo) para el 7 de septiembre del 2022 informo que 5.783 personas fallecieron a causa de las temperaturas tanto frías como calientes, 3.833 personas en los meses de julio y agosto en España, para el caso de la Comunidad Valenciana el número total en esos dos meses es de 361. Es importante destacar que las altas temperaturas pueden causar encarecimientos de salud, ya que facilitan la propagación de nuevos agentes infecciosos y la agravación de enfermedades crónicas como el cáncer, enfermedades pulmonares y hasta la muerte, afectando principalmente a la población vulnerable. Este número va en aumento ya que en el 2020 se reportó 1.883 y en el 2021, 3.576 muertos a causa de las temperaturas. De no hacer nada, según proyecciones realizadas con datos del periodo 2000-2009, se podría llegar en España a 13.000 muertes al año a causa de altas temperatura (Abizanda, 2022).

Las Islas de Calor Urbanas (ICU) son cada vez más percibidas por los habitantes de las ciudades por la sensación del estrés térmico que se, concentran en los sectores más urbanizados de las ciudades, en especial en las aglomeraciones industriales (Biryukov, et al., 2021). Las infraestructuras que remplazan las áreas verdes disminuyen el efecto enfriador de la naturaleza, atrapando el aire y absorbiendo la luz solar, lo cual se suma al calor generado por



los vehículos, fábricas y sistemas de enfriamiento y calentamiento de los edificios. Al estudiar las Islas de Calor Urbanas se puede obtener información acerca de cómo planear las ciudades para proteger el medio ambiente y mejorar las condiciones de vida de sus habitantes.

Este aumento de la Temperatura Superficial genera impactos ambientales como la alteración del clima local, al modificar los patrones de temperatura, viento y lluvia. Además, causa que las personas se sientan incómodas y que su calidad de vida y salud se vea afectadas negativamente.

El estudio de la Temperatura Superficial es un parámetro útil y necesario para modelar el clima en otras disciplinas como la hidrología y la agricultura (Rosselló & Casals, s.f.). También es de interés en diferentes disciplinas científicas, ya que cambios en la Temperatura Superficial pueden llegar a generar cambios que impacten la salud de las personas y animales, el ecosistema, y el suministro de agua potable y el clima (Feizizadeh & Blaschke, 2013). También permite el estudio del clima urbano ideal, este sería el que permita tener un aire limpio y ausencia de estrés térmico, al mismo tiempo minimizando el impacto del calentamiento global logrando trabajar en los ODS (Fernández, 2009):

- Objetivo 3. Garantizar una vida sana y
- Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles; ciudades más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

Sin embargo, obtener la Temperatura Superficial por medio de las estaciones meteorológicas no resulta eficiente para el estudio de las variaciones en los diferentes usos del suelo, tipos de edificaciones y características naturales (Liu & Zhang, 2011); (Arellano & Rica, 2018). En la mayoría de las ciudades, las estaciones meteorológicas son pocas, sobre todo para el tipo de estudio que nos interesa, por ejemplo, la Región Metropolitana de Barcelona solo cuenta con 33 estaciones para estimar la Temperatura Superficial del área metropolitana (Arellano & Rica, 2018).

Por el contrario, la metodología planteada en este trabajo usando imágenes satelitales permite obtener la Temperatura Superficial de manera continua y simultánea para toda el área de



estudio, logrando estudiar el clima urbano superficial de la ciudad de manera global, permitiendo representar la variabilidad espacial de Temperatura Superficial (Weng, 2009).

1.1.2 Antecedentes

El concepto de Isla de Calor Urbanas (ICU) fue establecido por primera vez por Luke Howard en 1833. Él inició el estudio del clima urbano en 1806, al registrar mediciones de presión, temperatura, humedad relativa y precipitaciones en la ciudad de Londres tanto en el centro de la ciudad como en las zonas periféricas (Delgadillo, 2019). En años recientes ha tomado mayor relevancia por el cambio climático y por contar con las herramientas tecnológicas para estudiarla como son los sensores remotos que, permiten tener una mayor resolución y densidad de información mejorando la exactitud y la escala de los estudios (Liu & Zhang, 2011).

El estudio de la Isla de Calor Urbana depende de la estimación o medición in situ de la Temperatura Superficial (TS). Es así como en las investigaciones que se han concentrado en el tema, la estimación de la Temperatura Superficial se ha hecho de diferentes maneras en las que se incluyen modelos de balance de energía, modelos de laboratorio, simulaciones en tres dimensiones y otras simulaciones numéricas y estadísticas (Weng, 2009). Sin embargo, el cálculo de la Temperatura Superficial por teledetección permitió que el análisis dejara de ser puntual y se ampliara a una mayor escala. Para ello, existen dos métodos: el primero solo utiliza una banda térmica, llamado en inglés "*Single Channel Algorithms*" (SCA) y el segundo utiliza más de una banda y es conocido como "*Split Window Algorithms*" (SWA). Igualmente, ambos algoritmos dependen del cálculo de la emisividad superficial (ES) y la Temperatura de Brillo (TB), los cuales también han sido investigados ampliamente (Isaya & Avdan, 2016).

A nivel de herramienta, existe un complemento, "*Semiautomatic Classification Plugin*" (SCP), para el programa QGIS, que permite realizar el cálculo de la Temperatura de Brillo y el procesamiento de las imágenes satelitales (Biryukov, et al., 2021). El cálculo de la emisividad es más complejo como se expondrá en este documento (Dos Santos, et al., 2013). El algoritmo SWA fue creado para estimar la Temperatura Superficial del Mar, pero se ha estudiado como adaptar esta metodología para el cálculo de la Temperatura Superficial del Suelo (Isaya & Avdan, 2016).



Después de haber determinado la Temperatura Superficial y obtener las Islas de Calor Urbanas, estos resultados se han utilizados para analizar los procesos de urbanización. En varias investigaciones se ha realizado la comparación entre estaciones a lo largo de varios años para conocer los efectos de la urbanización sobre las Islas de Calor Urbanas (Dos Santos, et al., 2013); (Acero & González-Asensio, 2018). También se han estudiado la relación con las propiedades físicas como son las superficies de los materiales, los colores, el factor de vista de cielo y la geometría de las vías (Weng, 2009).

En el caso de la ciudad de Tabriz (Irán), se identificaron las Islas de Calor Urbanas al hacer un análisis mixto de información recopilada en campo e imágenes satelitales del sensor ASTER para encontrar la relación de estas con el uso del suelo y la contaminación del aire. Se encontró que las Islas de Calor Urbanas no necesariamente se encuentra en el centro de la ciudad sino más bien que están relacionadas con los usos de suelo: industrial y residencial de alta densidad. Además, se determina que la Temperatura Superficial se ve afectada por la vegetación, la humedad y la contaminación del aire con excepción del Mercado de Tabriz el cual presenta alta contaminación del aire, pero la Temperatura Superficial es relativamente normal (Feizizadeh & Blaschke, 2013).

También en la Metrópolis de Delhi (India) se encontraron las Islas de Calor Urbanas usando las imágenes del satélite Landsat 7 con el fin de estudiar las características de la Temperaturas Superficiales. En este caso, se concluyó que esta presenta variaciones espaciales y temporales en donde se hace clara la diferencia entre la Temperatura Superficial de día y de noche y que las altas temperaturas están relacionadas con las actividades humanas, cambios en el uso suelo y la densidad de la vegetación (Mallick, et al., 2013).

En Brasil, en los distritos de Curado y Casa Amarela, con imágenes del satélite Landsat 5 del 4 de agosto de 1998 y del 6 de septiembre del 2010, se encontraron una variación temporal y espacial. Las zonas de mayor densidad urbana presentan una diferencia de 6°C y el distrito del ensanche presenta una diferencia de 2°C más con respecto a las otras zonas. En este periodo de estudio se demostraron la formaron de Islas de Calor Urbanas alrededor de diferentes edificaciones consolidadas (Dos Santos, et al., 2013).



También en el Área Metropolitana de San Salvador, se estudiaron imágenes Landsat desde el 2000 al 2015 y se encontró que la Temperatura Superficial aumentó en promedio 0,5°C en las Islas de Color Urbanas. Además, al evaluar las diferencias entre estación tropical seca y humedad, la Temperatura Superficial es 1,3°C mayor en las Islas de Calor Urbanas en la estación húmeda. Además, se destacó la diferencia en el efecto del tipo de vegetación en ambas épocas, recalcando la importancia de la planeación del espacio público y de la variedad de plantas que debe acompañar estos espacios (Acero & González-Asensio, 2018).

En la ciudad de Madrid (España) se evaluó la calidad de la estimación de la emisividad utilizando el escáner Airbone Hyperspectral Scanner (AHS) y tres algoritmos el: NVDI (*Normalized Difference Vegetation Index*), TES (*Temperature and Emissivity Separation*) y TISI (*Temperature Independent Spectral Indices*). Los mejores resultados fueron los obtenidos por los algoritmos TES y TISI, aun así, se encuentra que el TES se destaca ya que no necesita una resolución alta del sensor. En cuanto al algoritmo NVDI se determinó que no logra identificar correctamente las superficies artificiales que caracterizan a las zonas urbanas (Oltra-Carrió, et al., 2012).

Song, Bonggeun y Park en el 2014 midieron 21 diferentes tipos de superficies, de forma generar obtuvieron que la emisividad más baja se presenta en las zonas verdes con un valor de 0,93 y la más alta de 1,00 en el agua y techos de teja. Sobrino en 2012, hace un estudio más detallado, en donde estableció que la superficie del agua tiene un valor 0,99, los árboles 0,99, 0,91 para el concreto, 0,97 para suelo expuesto claro y 0,99 para los techos (Song, et al., 2014).

En cuanto al estudio de la Temperatura Superficial en relación con las propiedades morfológicas urbanas, la más estudiada hasta la fecha es la densidad de la edificación. En el primer informe donde se analizó fue el realizado por Yamashita en donde también se estudió la rugosidad y el factor de visión del cielo. Bello, V en el año 1994, relacionó la intensidad de las Islas de Calor Urbanas con la densidad para diferentes escenarios. Y por último se comparó la densidad y el crecimiento poblacional y la Temperatura Superficial (Sarricolea, et al., 2008).



En la ciudad intermedia de Rancagua (Chile) se relacionó la intensidad de las Islas de Calor Urbana con características geográficas urbanas, siendo estudiadas por medio de modelos de regresión múltiple por pasos sucesivos (Sarricolea, et al., 2008).

La ciudad de Zaragoza estableció la ubicación de las Islas de Calor Urbana a partir de la medición de 27 puntos in sitio. El resultado fue comparado con la topografía, la densidad de la de edificaciones, la cubierta vegetal, la reflectividad de los materiales, y la dirección de los vientos dominantes, logrando así determinar la localización de las Islas de Calor Urbanas a partir de los factores geográficos urbanos (Cuadrat, et al., 2005).

En el 2018, con el sensor Landsat 8, en Barcelona, se analizó la Temperatura Superficial y la configuración del espacio público en relación con el área construida. En este caso investigando dos espacios diferentes (en el primer caso, el área construida se ubica alrededor del espacio abierto y en el segundo el espacio abierto es el que rodean el área construida), se observó que estos dos casos hacen variar la configuración de las Islas de Calor Urbanas. A partir de los resultados encontrados se presenta la importancia del espacio público en el diseño urbano buscando reducir el impacto de las Islas de Calor Urbano (Sarricolea, et al., 2008).

En la ciudad de Valencia se han podido localizar dos estudios. Un primero, de 1988, donde se comparó las mediciones tradicionales de la temperatura del aire desde un vehículo con las obtenidas por el satélite NOAA. En este trabajo se hace referencia a la importancia de la estimación de la emisividad para diferentes coberturas del suelo ya que esta varía según el tipo de material y se puede tener modificaciones en el cálculo de la temperatura. Se encontró que por medio de las imágenes satelitales se puede estimar las Islas de Calor Urbanas obteniendo resultados cercanos a las mediciones in sitio, por medio del satélite la temperatura encontrada es de 4,5°C y por medio de las mediciones in campo de 3,0°C, pero se entiende que esta diferencia se debe a que uno es la Temperatura del Aire y la otra la Temperatura Superficial respectivamente (Caselle, et al., 1990).

Más tarde, en el 2020, Cuesta utilizó imágenes de la temperatura de la superficie terrestre de la ciudad de Valencia, del satélite MODIS Land Surface Temperatura (MODIS LST) en su versión 6. Con estas imágenes, contó con datos diarios de la temperatura y emisividad de la superficie



terrestre en píxeles de 1200 por 1200 km. Las imágenes fueron procesadas en el programa QGIS, obteniendo mapas georreferenciados de la Temperatura Superficial (TS) permitiendo identificar las Islas de Calor Urbanas (ICU) y determinar su intensidad por estaciones meteorológicas. Por causa de la resolución del satélite no se logró desarrollar conclusiones del comportamiento de las zonas edificadas y zonas verdes (Cuesta, 2020).

1.1.3 Objetivo general

Analizar la incidencia de la morfología urbana en la Isla de Calor Urbana en Valencia.

1.1.4 Objetivos específicos

- Encontrar una metodología que permita estimar la Temperatura Superficial en la ciudad de Valencia mediante imágenes satelitales del sensor ASTER.
- Investigar y seleccionar características morfológicas urbanas de las ciudades que podrían tener un efecto negativo o positivo en la Temperatura Superficial.
- Elaborar Mapas del Clima Urbano (MCU), así como mapas con las características morfológicas seleccionadas.
- Identificar las Islas de Calor Urbanas de la ciudad de Valencia, las zonas calientes y frías.
- Comparar las zonas con mayor Temperatura Superficial con las condiciones meteorológicas de la fecha analizada.
- Establecer la relación entre la Temperatura Superficial y las características morfológicas urbanas y la clasificación de las cubiertas del suelo.
- Analizar el efecto de las zonas verdes con respecto a la Temperatura Superficial y su área de influencia.
- Analizar los elementos de diseño urbano capaz de disminuir y controlar la Temperatura Superficial.



1.1.5 Hipótesis

- Es posible determinar Islas de Calor Urbanas usando imágenes satelitales y programas de software libre como QGIS.
- El uso de imágenes satelitales del sensor ASTER permite un seguimiento del fenómeno de la Isla de Calor.
- La Isla de Calor Urbana responde a un modelo concéntrico localizado en el centro de la ciudad. La distancia al centro genera un efecto de disipación.
- Los usos del suelo urbanos presentan mayor Temperatura Superficial que los usos del suelo relacionados con los espacios abiertos como son las zonas verdes urbanas, la Huerta de Valencia y el Parque del Río Turia.
- La morfología urbana tiene un efecto significativo en la Isla de Calor Urbana.
- La densidad contribuye a mayor calor urbano.
- Los espacios verdes (zona verde urbana, Parque de Río Turia y la Huerta de Valencia) contribuye a bajar la temperatura urbana.

1.2 Caracterización del área de estudio

1.2.1 Ámbito

Este trabajo se encuentra localizado en España, en La Comunitat Valenciana, específicamente en la ciudad de Valencia (Figura 1). La zona de estudio se delimitó a partir de las autovías V-21, V-30 y CV-30 y el litoral mediterráneo la costa del mar Mediterráneo de la desembocadura del Río Turia a la playa de la Patacona. Valencia es una ciudad compacta, estando delimitada al este por el mar Mediterráneo y una importante construcción como es el Puerto de Valencia, mientras que en la parte norte, oeste y sur se ubica la Huerta de Valencia (Figura 2).



Figura 1. Localización de zona de estudio

Fuente: elaboración propia a partir de IDEV (Infraestructura de Datos de Espacial Valenciana)



Figura 2. Zona de estudio

Fuente: Elaboración propia a partir de IDEV (Infraestructura de Datos de Espacial Valenciana)

La zona de estudio se encuentra en el área Metropolitana de Valencia, la cual está compuesta por 71 municipios con una superficie 2.133,1 km², en donde viven 1.583.423 personas. La zona de estudio está conformada por parte de estos siete municipios: Valencia, Alboraya, Burjassot,



Paterna, Quart de Poblet, Mislata y Xirivella con un área total de 52,1 km². Apenas representa solo un 2% de la superficie del Área Metropolitana, sin embargo, en el conjunto de estos municipios, viven el 65% de la población 1.034.720 personas al cierre del padrón en 01/01/2021 en su última publicación (Ajuntament de Valencia, 2021); (Generalitat Valenciana, 2019).

A nivel económico, la zona de estudio es fundamentalmente un área de servicios, ya que actualmente emplea a un 84% de la población. Las actividades con mayor importancia son: demanda final, comercio minorista y mayorista, de los servicios especializados a empresas y actividades profesionales. Igualmente 11% de la población ocupada trabaja en el sector industria en pequeñas y mediana empresas en donde destacan el sector papel, artes gráficas, madera, muebles, productos metálicos, calzado y confección. También se destaca que las actividades agrarias todavía tienen una importancia en la economía, a raíz de la importante huerta (Ajuntament de Valencia, 2022).

El ámbito de estudio se caracteriza por cuatro tipos de cubiertas de suelo principales: Casco, Ensanche, Huerta de Valencia y Zona Verde Urbana. El Casco representa un 3,76% del total de la superficie estudiada, en cuanto al Ensanche es el que tiene una mayor superficie con un 37,41%, la Huerta de Valencia representa el 11,40% de la superficie y la Zona Verde Urbana un 4,61%, la cual en su mayoría se corresponde con el antiguo cauce del río Turia. Limita al sur el desvío del cauce del río Turia que se hizo como consecuencia de la gran inundación de 1957 (Cuesta, 2020); (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2019).

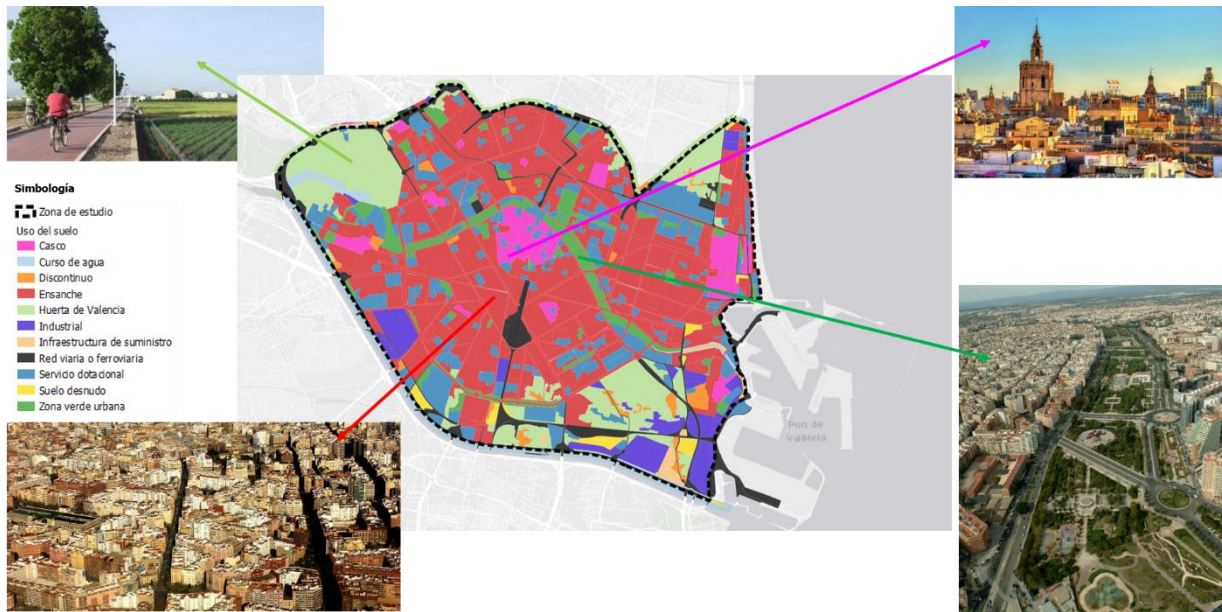


Figura 3. Cubiertas del suelo en la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia a partir de datos SIOSE 2018

1.2.2 Climatología

El clima en la zona de estudio se caracteriza por veranos calurosos, bochornosos y mayormente despejados, en contraposición con inviernos largos, fríos, ventosos y parcialmente nublados, siendo un clima mediterráneo suave y ligeramente lluviosos con una temperatura media anual de 18,4°C (Cedar Lake Ventures, Inc, 2022) & (Cuesta, 2020). Las mayores temperaturas se presentan en los meses de junio a septiembre, el mes más cálido es agosto en el cual se puede tener en promedio una temperatura de 30°C y una mínima de 22°C. Los meses más fríos son de noviembre a marzo, el mes con menores temperaturas es enero con una temperatura promedio de 6°C y una máxima de 16°C, como se muestra en la Figura 4.

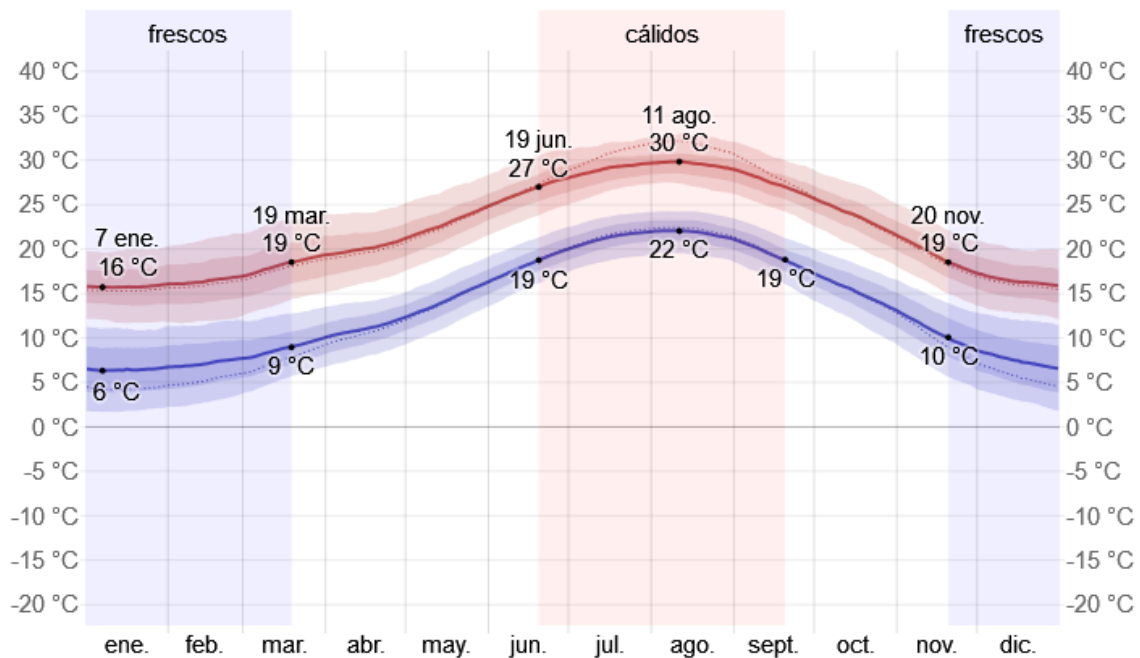


Figura 4. Temperatura máxima y mínima promedio en Valencia

Fuente: (Cedar Lake Ventures, Inc, 2022)

Los meses en los cuales el cielo está más despejado son de junio a septiembre con el mes de julio como el más despejado del año ya que 88% del tiempo el cielo se encuentra mayormente despejado o parcialmente nublado. Octubre es el mes más nublado en donde el 44% del tiempo el cielo esta nublado o mayormente nublando, los meses de septiembre a junio son los meses con mayor probabilidad de estar nublados.

La ciudad de Valencia destaca por tener una ligera variación de lluvia mensual por estación. El mes con más días de probabilidad de lluvia es octubre con 5,5 días con por lo menos un milímetro de precipitación; por el contrario, el mes con menos probabilidad es julio con 1,2 días. En estos meses el promedio de milímetros de lluvia es de 44 mm para octubre y 5 mm para julio.

El amanecer más temprano es a las 06:33 y el más tarde a las 08:26, en cuanto al atardecer el más temprano es al 17:37 y el más tardío es a las 21:32. Así que el día más corto es de

aproximadamente 9 horas y 20 minutos y el más largo es de 15 horas de luz natural (Figura 5).

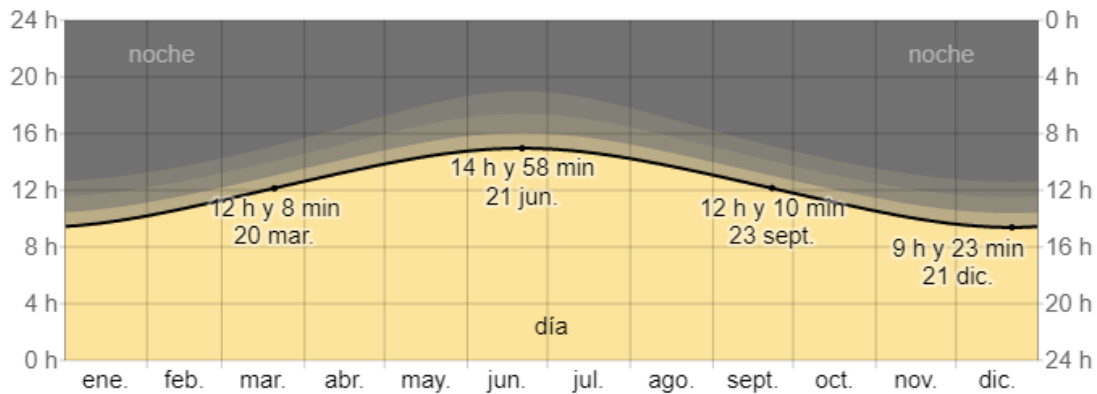


Figura 5. Horas de luz natural y crepúsculo en Valencia

Fuente: (Cedar Lake Ventures, Inc, 2022)

La humedad es una característica de Valencia, esta tiende a cambiar lentamente durante el día, así que un día húmedo va acompañado de una noche húmeda. El período más húmedo es de junio a octubre con un nivel de comodidad bochornoso por lo menos durante el 19% del tiempo. El mes con más días de probabilidad de bochorno es agosto que puede tener de 23 días a más.

Enero es el mes con más vientos y estos presentan mayor velocidad está en promedio es de 15,5 kilómetros por hora. El mes que presenta la menor velocidad del viento es agosto en donde en promedio esta es de 11,4 kilómetros por hora. El viento viene predominantemente del oeste, durante 6,5 meses (de octubre a abril), y del este de abril a octubre. Cuenta con seis días en abril en donde los vientos tienen una probabilidad del 28% de provenir del norte (Cedar Lake Ventures, Inc, 2022).



Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Islas de Calor Urbanas (ICU)

El fenómeno de las Islas de Calor Urbanas fue definido por primera vez en 1833 por el investigador británico Luke Howard, el cual determina que la Temperatura del Aire y Superficial son significativamente mayores en las áreas urbanas en comparación con las áreas rurales y naturales a su alrededor (Liu & Zhang, 2011); (Kato & Yamaguchi, 2005), siendo más intensa esta diferencia en las noches (Arellano & Rica, 2018); (Sarricolea, et al., 2008) y por lo general incrementándose en el verano (Cuadrat, et al., 2005).

Los sensores remotos y el análisis in situ de la Temperatura Superficial y del Aire han facilitado el determinar las Islas de Calor Urbanas, ya que también permiten establecer el límite entre el área urbana y la rural (Schwarz, et al., 2011).

Las Islas de Calor Urbanas son una representación gráfica de la distribución espacial de la Temperatura Superficial en la ciudad y sus alrededores, la denominación del fenómeno hace alusión a una imagen cartográfica (Moreno, 1997). Esta se dibuja como una campana de Gauss, que tiene su punto alto en el centro urbano y denso y disminuye conforme se aleja de la zona urbanizada, *Figura 6*. El termino fue establecido por Gordon Manley en la década de los 50 (Cuesta, 2020).

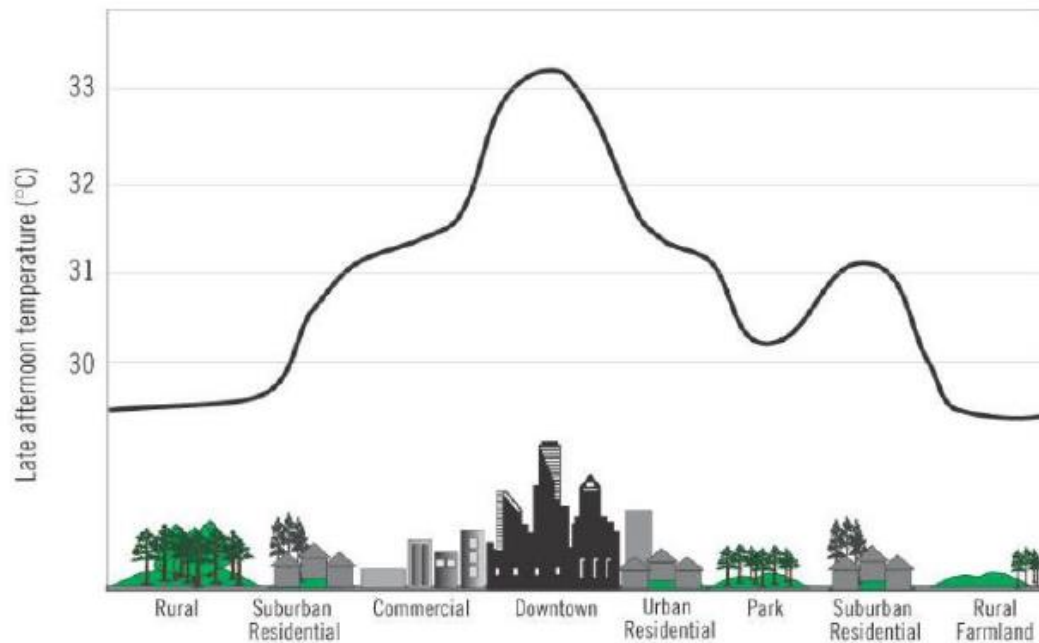


Figura 6. Representación gráfica de las Islas de Calor Urbanas

Fuente: (Cuesta, 2020)

Se considera que las principales causas de este fenómeno son:

- La artificialización y expansión urbana, urbanización, con materiales de construcción altamente impermeables, con gran capacidad térmica y de conducción energética que reciben la insolación directa y que la devuelven a la atmósfera posteriormente (Kato & Yamaguchi, 2005); (Liu & Zhang, 2011); (Garzón, et al., 2021),
- La reducción del flujo del aire, producido por los altos edificios y las calles estrechas, los cuales atrapan el aire entre ellos (Liu & Zhang, 2011) y
- Las actividades humanas en especial las de gran consumo energético como son el uso del vehículo, la producción en fábricas y el uso de los aires acondicionados y la calefacción, (Kato & Yamaguchi, 2005); (Sarricolea, et al., 2008).

Los efectos del aumento de la huella urbana también se podrían plantear como la disminución del paisaje natural el cual está compuesto por plantas, suelo al descubierto y cuerpos de agua, estos tienen una gran capacidad de almacenar agua y absorber la energía. Dificultan los

procesos de evaporación y que la disipación de la energía sea graduada, los cuales son los procesos de enfriamiento natural, por el contrario, el suelo urbanizado completamente impermeabilizado, drena rápidamente el agua habiendo poco contenido de vapor de agua para la evaporación, ocasionando que la energía almacenada sea mayor. Altera las siguientes propiedades del suelo: rugosidad, emisividad, capacidad térmica, la conductividad y las capacidades hidráulicas (Liu & Zhang, 2011). Esto causa una diferencia mayor en la Temperatura Superficial Urbana, como se muestra en la *Figura 7* (Thi Van & Xuan Bao, 2009); (Liu & Zhang, 2011); (Acero & González-Asensio, 2018).

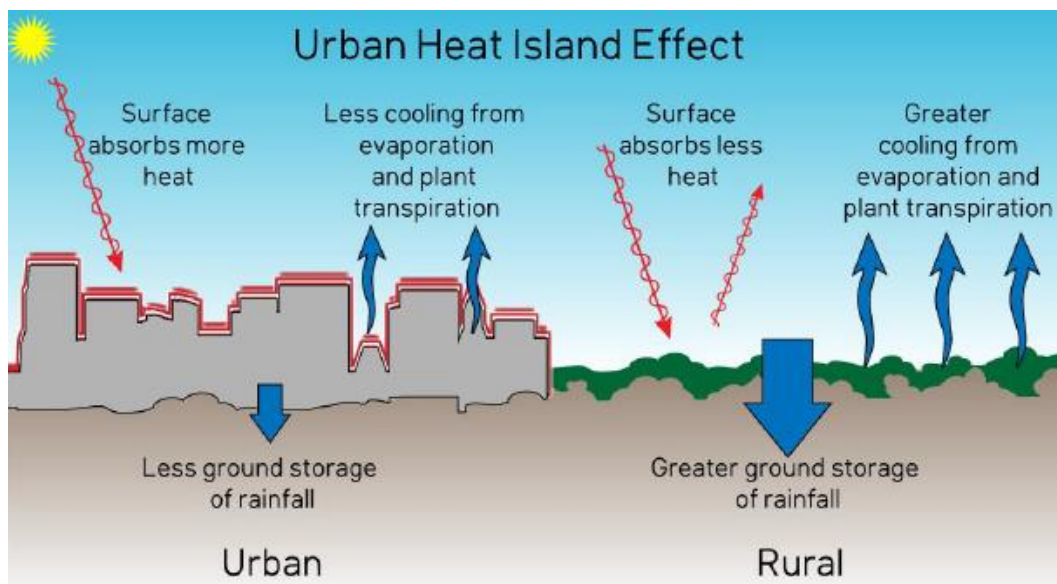


Figura 7. Esquema del fenómeno de las Islas de Calor Urbanas

Fuente: (Cuesta, 2020)

Las Islas de Calor Urbanas varían durante el día: tiene su punto máximo horas después de la puesta del sol, cuando los materiales empiezan a liberar lentamente la energía absorbida durante el día (Cuesta, 2020).

En las noches la composición atmosférica es más estable, ya que la radiación solar directa ya no está presente y la velocidad de los vientos es más baja (Mallick, et al., 2013). Las superficies se comportan casi como un cuerpo isotérmico y homogéneo (Barreto, et al., 2010). Es así como



el gradiente de temperatura es uniforme con transiciones más paulatinas, de manera que las Islas de Calor Urbana se representan mejor (Mallick, et al., 2013).

Este fenómeno ha sido estudiado por Uwin, 1980; Schmidlin, 1989; Jáuregui, 1997 y Guijarro, 1998 en donde señalan que las noches favorecen la concentración de calor, en cambio en el día se da un comportamiento heterogéneo del calor, a razón de los contrastes entre zonas expuestas al sol y las sombras creadas por los edificios, como por la gran variedad de materiales presentes en el escenario urbano (Sarricolea, et al., 2008).

También se ha encontrado una diferencia entre la Temperatura Superficial en las áreas abiertas como son las aceras y los espacios abiertos, debido a que la onda corta continua de radiación circula en las áreas abiertas, los espacios más compactos liberan menos energía (Song, et al., 2014).

Las Islas de Calor Urbanas tienen una escala local: impactan en el clima de la ciudad y su área más próxima circundante (Cuesta, 2020). Se entiende como clima urbano el conjunto de características y cambios climáticos producidos por el desarrollo de las actividades humanas en la ciudad, incluye la temperatura, vientos, heladas, nevadas, nubosidad y demás (Cuesta, 2020).

Uno de los parámetros meteorológicos que se destaca es el viento y en especial su dirección ya que es clave para la variación térmica, igualmente que la humedad. También la topografía es una característica importante ya que a mayor altitud (elevación con respecto al nivel del mar) las temperaturas son menores. En esta misma línea se destaca el efecto que puede tener la distancia a los cuerpos de agua (mar, lagos y ríos), en donde puede ser necesario considerar ciertos ajustes.

En donde se ubican las Islas de Calor Urbano se tienen mayores temperaturas afectando el confort y la salud de las personas, empeorando los problemas de asma y aumentando otras enfermedades respiratorias (Thi Van & Xuan Bao, 2009); (Liu & Zhang, 2011).

La morfología urbana, el diseño del paisaje, la selección de la vegetación y de los materiales tiene especial relevancia en la Temperatura Superficial (Arellano & Rica, 2018).



2.2 Sensor ASTER del Satélite "Tierra"

El sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) tiene una alta resolución espacial (90 m) y cuenta con 14 bandas: estas detectan radiaciones electromagnéticas desde la región visible hasta la infrarroja térmica (Jiménez-Muñoz & Sobrino, 2007); (Isaya & Avdan, 2016).

Se encuentra a bordo del satélite "Terra", el cual fue lanzado en diciembre de 1999 por la NASA y la Agencia Espacial Japonesa (Jiménez-Muñoz & Sobrino, 2007), pero no fue hasta abril de 2016 que la información del sensor estuvo disponible de forma abierta. La información recopilada desde 1990 hasta el 2016 tiene una amplia cobertura espacial (el 99% de la Tierra) ya que este sensor permite la observación periódica de grandes extensiones de tierra al tener una órbita polar que lo lleva de norte a sur cada 99 minutos con una frecuencia de 16 días (Velásquez & Torres, 2020); (Silvestri, et al., 2020).

Por el contrario, los otros sensores con baja resolución realizan mediciones todos los días, pero tiene una resolución espacial muy baja de un 1 km o más, esta escala no permite detectar anomalías termales en áreas menores a 100 m (Silvestri, et al., 2020).

Cuenta con tres subsistemas: VNIR, SWIR y TIR. Tiene una resolución radiométrica de menos de 0,3 a 300K (Barreto, et al., 2010). Sus especificaciones técnicas se presentan en el siguiente cuadro:



Cuadro 1. Descripción de las especificaciones técnicas del sensor ASTER

Subsistemas	Bandas	Longitud de onda (μm)	Longitud de onda efectiva (μm)	Resolución espacial (m)	Resolución radiométrica (bits)
VNIR: Visible e Infrarroja Cercana (Visible and Near Infrared)	1 - Verde	0,520-0,600	-	15	8
	2 - Roja	0,630-0,690	-		
	3N	0,780-0,760	-		
	3B	0,780-0,760	-		
SWIR: Onda Corta Infrarroja (Short Wave Infrared)	4	1,600-1,700	-	30	8
	5	2,145-2,185	-		
	6	2,185-2,225	-		
	7	2,235-2,285	-		
	8	2,295-2,365	-		
	9	2,360-2,430	-		
TIR: Infrarrojas Térmicas (Thermal Infrared)	10	8,125-8,475	8,287	90	16
	11	8,475-8,825	8,685		
	12	8,925-9,275	9,079		
	13	10,25-10,95	10,659		
	14	10,95-11,65	11,289		

Fuente: (Isaya & Avdan, 2016); (Bravo, 2017)

Es principalmente usado para estudiar la Temperatura Superficial y la emisividad, gracias al subsistema TIR. También es importante señalar que el subsistema SWIR dejó de funcionar en abril del 2017 (Silvestri, et al., 2020).

El sensor ASTER al contar con bandas en los espectros VNIR, SWIR y TIR (Figura 8) permitió relacionar las características biofísicas y la temperatura, ya que es en las bandas VNIR y SWIR que se registra la información de las propiedades biofísicas de la vegetación y el suelo y en la banda TIR la temperatura. Los primeros sensores remotos no capturaban la información de temperatura simultáneamente con la vegetación (Lu & Weng, 2005).

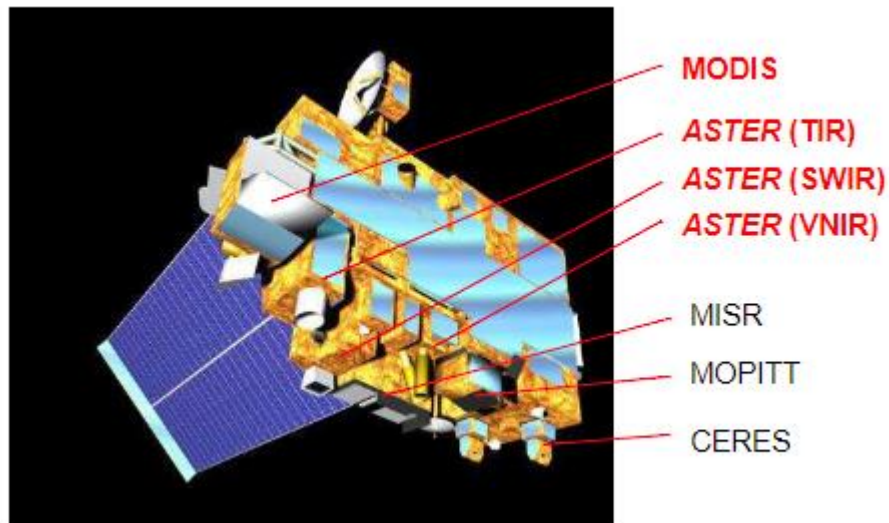


Figura 8. Satélite Terra y ubicación del sensor ASTER

Fuente: (Bravo, 2017)

Es importante destacar que las imágenes nocturnas no cuentan con la información de las bandas VNIR, complicando la obtención de la Temperatura Superficial por medio del algoritmo SCA, siendo necesario usar un algoritmo de tres bandas o por otro método (Nie, et al., 2021).

Cada una de las bandas almacena la información de las ondas electromagnéticas conforme a la respuesta espectral de los objetos en la superficie. Las áreas de acumulación y el suelo desnudo se reflejan con mayor facilidad en el subsistema SWIR que en el VNIR, por el contrario, los cuerpos de agua y las superficies verdes se reflejan mejor en el subsistema VNIR, como se presenta en la siguiente imagen:

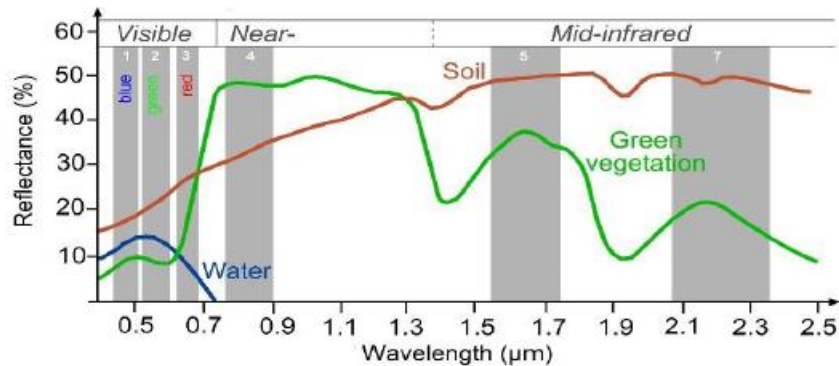


Figura 9. Porcentaje de reflexión de las diferentes superficies y su relación con las longitudes de onda

Fuente: (Rodríguez, 2020)

Las ventajas de la utilización del sensor ASTER sobre la medición tradición in situ es que tiene una alta resolución, amplia cobertura y multitud de puntos, lo que permite estudiar a mayor profundidad las Islas de Calor Urbanas (Liu & Zhang, 2011). La alta resolución del subsistema TIR provee una oportunidad para obtener información de la radiación de la superficie del suelo para así aproximar la Temperatura Superficial y la emisividad, obtenido información global y continua (Barreto, et al., 2010)

Sin embargo, el sensor presenta las siguientes restricciones: la cobertura temporal es limitada (tiempo entre mediciones), tiene afecciones por los agentes climáticos y atmosféricos, los cuales afecta la resolución de las imágenes arrojadas (Cuesta, 2020). La frecuencia de las mediciones es 16 días siendo inadecuados para realizar monitoreo en tiempo real de algunos procesos naturales como son los volcánicos (Silvestri, et al., 2020).

2.3 Temperatura Superficial (TS) del suelo

Este es uno de los datos más importantes estimados a partir de los sensores remotos ya que es utilizado en diferentes campos como son: agricultura, hidrología, urbanismo, cambio climático, geotecnia, ambiental, oceanografía y otros (Weng, 2009); (Acero & González-Asensio, 2018); (Meng, et al., 2016).



La Temperatura Superficial (TS) del suelo es el calor de las superficies que cubren el suelo, afectando la temperatura del aire en las capas bajas de la atmosfera (Isaya & Avdan, 2016), la radiación de la superficie y el intercambio de energía, determinando el clima interno de los edificios y el confort de las personas en las ciudades (Weng, 2009). La Temperatura Superficial controla el balance de energía y el intercambio de la radiación de longitud de onda de la atmosfera y la superficie (Li, et al., 2019).

Muchos son los factores que determina la Temperatura Superficial: composición de las cubiertas del suelo, color de la superficie, factor de visión de cielo, la geometría de la ciudad y de las vías, la densidad del tráfico, el uso del suelo, cobertura del suelo, factores meteorológicos, área construida, altura del edificio, vegetación, distribución de la población y la intensidad de las actividades humanas (Weng, 2009). Uno de los factores más estudiados hasta la fecha es el tipo de coberturas vegetales con fines agrícolas, en donde se destaca como la Temperatura Superficial está relacionada con el fenómeno de la evaporación, ya que es una forma de liberar calor (Fernández, 2018).

La Temperatura Superficial varia tanto en el tiempo como en el espacio debido a la gran variabilidad de las superficies tanto artificiales como naturales. Es por eso por lo que para su análisis es necesario los satélites de alta resolución, ya que los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas no representan de manera eficiente la variación espacial. Los satélites permiten obtener una gran cantidad de puntos de información (Isaya & Avdan, 2016); (Arellano & Rica, 2018); (Liu & Zhang, 2011).

Se han utilizado diferentes modelos para estimar la Temperatura Superficial como por ejemplo numéricos, físicos, de balance de energía y gaussianos, también se han realizado simulaciones en tres dimensiones.

Al estimar la Temperatura Superficial es necesario conocer con anterioridad los parámetros atmosféricos, meteorológicos, la emisividad y las características de los sensores remotos, en los cuales destacan resolución radiométrica, la resolución espectral, la resolución espacial y el ángulo de medición (Sekertekin & Bonafoni, 2020).



Uno de los factores clave en el cálculo de la TS es la emisividad. Además, es fundamental que tenga un grado alto de exactitud (Weng, 2009), ya que se ha determinado que una inexactitud del 1% de la emisividad puede generar un error de 0,78K en el resultado de la temperatura (Oltra-Carrió, et al., 2012). Todavía no se tiene una metodología universal y generalmente se plantea considerando diferentes condiciones y suposiciones. Es así como la Temperatura de brillo y la emisividad son las principales incertidumbres de la Temperatura Superficial (Sekertekin & Bonafoni, 2020).

Para determinar la Temperatura Superficial usando el satélite ASTER se deben seguir estos dos pasos:

- la radiación espectral se tiene que convertir en Temperatura de brillo y
- la emisividad debe ser corregida (Feizizadeh & Blaschke, 2013).

Posterior al realizar las correcciones anteriores se utilizan algoritmos para estimar la Temperatura Superficial. Estos se dividen en dos grupos por el número de bandas del subsistema TIR que utilizan. El primer tipo de algoritmo conocido en inglés como "*Single Channel Algorithms*", SCA" o "*Mono-Window Algorithms*", utilizan solo una banda del sistema TIR. El segundo tipo utiliza más de una banda así que se le conoce como el "*Split Window Algorithms*, SW" o el "*Multi-Channel Method*", en este algoritmo se ha encontrado que es importante para representar la realidad correctamente, realizar una estimación precisa de la estimación de la emisividad (Sekertekin & Bonafoni, 2020).

Además, se tiene el método de "*Temperature and Emissivity Separation*, TES", el cual es menos usado ya que requiere más información temporal y espacial. También requiere realizar ciertas correcciones atmosféricas (Wang, et al., 2020), en especial cuando hay alta humedad atmosférica (Barreto, et al., 2010). Este algoritmo permite obtener la Temperatura Superficial y la emisividad en la noche por medio de las ondas Infrarrojas Intermedias, "*Middle-Infrared*, MIR" y las ondas "Infrarrojas Térmicas, TIR". Teóricamente este algoritmo presenta un error aproximado entre -0,33 y 1,84K (Nie, et al., 2021).



No se ha encontrado alguna superioridad clara en los algoritmos de estimación de la Temperatura Superficial (Sekertekin & Bonafoni, 2020), pero sí se ha determinado que las bandas 13 y 14 del sensor ASTER presentan mejores resultados al estimar la Temperatura Superficial (Oguz, 2015).

La validación de la información de temperatura de los diferentes sensores ha sido ampliamente estudiada, pero se destacan tres estudios: el primero llevado a cabo en Basel (Suiza) en donde se comparó la energía de radiación de la tierra de las imágenes satelitales con las mediciones obtenidas en estaciones meteorológicas permanentes; el segundo en Kowloon, Hong Kong donde se aforó en 18 puntos seleccionados para este fin; el tercero se hizo en la ciudad de Scottsdale, Arizona en el cual utilizaron una cámara infrarroja termal. Los tres estudios llegan a la conclusión de que la Temperatura Superficial obtenida con sensores remotos puede sustituir a la temperatura tomada en el sitio (Song, et al., 2014).

En esta investigación se va a estimar la temperatura superficial por medio de la siguiente ecuación (Feizizadeh & Blaschke, 2013); (Bravo, 2017):

$$T_s = \frac{T_b}{\left[1 + \left(\frac{\lambda \cdot T_b}{C_2}\right) \cdot \ln \varepsilon\right]} - 273$$

En donde:

T_s : Temperatura de superficie del suelo

T_b : Temperatura de brillo aparente

$C_2: h \cdot \frac{c}{s} = 1.4388 \cdot 10^{-2} m K$

h : Constante de Planck: $6,626 \cdot 10^{-34} J s$

c : Velocidad de la luz: $2,998 \cdot 10^8 m/s$

s : Constante de Boltzman $1,38 \cdot 10^{-23} J/K$

ε : Emisividad



λ : Longitud de onda central de la banda térmica emitida según banda para la banda 13 es igual a 10.6 m

2.3.1 Emisividad

La emisividad es la relación entre la energía emitida por un objeto a una temperatura conocida y la energía emitida de un cuerpo que cumple la Ley de Planck (objeto oscuro) (Isaya & Avdan, 2016), la cual es la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico a una temperatura definida (Jin & Liang, 2006). Lo cual permite comprender el flujo energético de las diferentes coberturas (Mallick, et al., 2013).

Siendo así es como la emisividad está definida por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_{\gamma} = E_{\gamma} / B_{\gamma}(T)$$

En donde:

E_{λ} : Longitud de onda de radiación emitida

$B_{\lambda}(T)$: Es la emisión de la longitud de onda a una temperatura T, (Jin & Liang, 2006).

La emisividad de los objetos varía entre 0 y 1 (Thi Van & Xuan Bao, 2009). Las superficies terrestres tienen una emisividad entre 0,70 y 1, la cual varía significativamente de un punto a otro a diferencia de los cuerpos de agua los cuales presentan un valor más constante (Isaya & Avdan, 2016).

Estas variaciones se pueden dar por los siguientes factores: contenido de agua, composición química, estructura física, humedad, rugosidad, textura, vegetación, longitud de onda, estación del año, ángulo de visión, resolución del píxel (Isaya & Avdan, 2016); (Oltra-Carrió, et al., 2012). Es también importante destacar que una superficie mixta, va tener una emisividad diferente a la emisividad de los materiales que la componen (Jin & Liang, 2006), ya que la emisividad es una propiedad intrínseca de la superficie, además se debe considerar que la superficie puede cambiar con el tiempo (Oltra-Carrió, et al., 2012); (Galvis & Prada, 2007). En resumidas cuentas, la emisividad presenta una variación espacial y temporal.



Es así como la emisividad de una misma especie de vegetación puede variar en el tiempo en función de la densidad y el momento en el crecimiento de esta (Weng, 2009). Además, la emisividad de la vegetación es determinada por toda la estructura de la vegetación y no de la superficie plana de la hoja, por el efecto de cavidad entre las hojas por ejemplo la emisividad de un arbusto parcialmente cubierto es de 0,95 y la de un arbusto totalmente cubierto es de 0,99, el cual en general tiene una emisividad relativamente uniforme (Jin & Liang, 2006); (Pasapera, 2014).

Es importante estimar de la manera más precisa la emisividad, para reducir el error al calcular la Temperatura Superficial, ya que una falla en la emisividad puede introducir un error de 4 a 7°C en el valor de la Temperatura Superficial (Mallick, et al., 2013).

Existen diferentes metodologías para establecer la emisividad. Una de las primeras consideraciones que se hicieron con respecto a la emisividad fue considerar como un parámetro constante de valor 1 normalmente y 0,96 para el suelo al descubierto. Sin embargo, está demostrado que esta suposición introduce un error al modelo del balance de energía, en especial en las grandes extensiones de zonas desiertas y semiáridas, en donde la emisividad se encuentra entre 0,70 y 0,80, además es altamente variable por la heterogeneidad de las superficies. Aunque la suposición de la emisividad constante e igual a uno es válida para la mayoría de las áreas verdes donde la emisividad si es cercana a uno (Jin & Liang, 2006), (Pasapera, 2014), parece que no lo sea así en entornos urbanos con mayor variación. Aun así, en la ciudad de Tabriz se consideró la emisividad uniforme utilizando el valor obtenido en campo como una constante (Weng, 2009).

Una de las metodologías más comunes para obtener la emisividad es determinar una tipología de cobertura de suelo y considerar unos valores constantes según tipo (Lu & Weng, 2005); (Isaya & Avdan, 2016). Lo primero que se debe hacer es identificar las clases de coberturas, para posteriormente reclasificarlas de acuerdo con la clase de cobertura (Teruya, 2016). En Atlanta en el 2003 se clasificó las superficies del suelo en nueve clases como se presentan en el siguiente cuadro:



Cuadro 2. Emisividad para las diferentes superficies del suelo determinadas para la ciudad de Atlanta

Cobertura del suelo	Emisividad
Área urbana de alta densidad	0,94
Área urbana de baja densidad	0,95
Suelo cultivado o expuesto	0,92
Tierras de cultivo y pastizales	0,97
Parque y campos de golf	0,97
Bosque perenne	0,97
Bosque mixto	0,96
Bosque caducifolio	0,95
Cuerpo de agua	0,99

Fuente: (Teruya, 2016)

Para Delhi en el 2012 se usó una clasificación más simple de solo cuatro coberturas: suelo al descubierto, césped, asfalto y concreto. En el *Cuadro 3* se presentan los valores asignados a cada cobertura.

Cuadro 3. Emisividad para las diferentes superficies del suelo establecidas en la ciudad de Delhi

Cobertura del suelo	Emisividad
Suelo	0,928
Césped	0,982
Asfalto	0,942
Concreto	0,937

Fuente: (Teruya, 2016)

En Indianápolis, Estados Unidos las coberturas del suelo fueron clasificadas en 14 grupos basados en una categorización geométrica de vegetación en donde algunas de las clasificaciones son las siguientes: vegetación densa, vegetación separada, vegetación modular, agua y hielo (Weng, 2009).

El NCAR (National Center for Atmospheric Research), utiliza tres categorías de emisividad: suelo al descubierto con un valor de 0,96, nieve con un valor de 0,97 y por último superficie



de vegetación. La emisividad para la superficie de vegetación es calculada por el Índice de Área de Hoja (LAI, por sus siglas en ingles), variando píxel a píxel (Jin & Liang, 2006).

Song, Bonggeun y Park en el 2014 midieron 21 diferentes tipos de superficies, de forma que obtuvieron que la emisividad más baja se presenta en las zonas verdes con un valor de 0,93 y la más alta de 1,00 en el agua y techos de teja. Sobrino en 2012, hace un estudio más detallado, en donde estableció que la superficie del agua tiene un valor 0,99, los árboles 0,99, 0,91 para el concreto, 0,97 para suelo expuesto claro y 0,99 para los techos (Song, et al., 2014).

Sin embargo, este método presenta limitaciones en especial en los cambios abruptos de vegetación o tipología del suelo (Dos Santos, et al., 2013). Al no determinar la emisividad por píxel, no permite evaluar correctamente la variabilidad espacial en entornos poco homogéneos.

Otra metodología importante es la del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). En este caso, se utiliza las bandas del subsistema VNIR para determinar el NDVI y luego a partir del valor del NDVI se estima la emisividad. La relación entre el NDVI y la emisividad fue estudiada por primera vez por De Griend y Owe en 1993 en un ambiente de sabana, los cuales obtuvieron una correlación igual a 0,94 (Isaya & Avdan, 2016).

También existen metodologías que utilizan los valores de la emisividad, establecidos en las bases de datos espectrales por sensor: ASTER y el MODIS UCSB. Al trabajar con emisividades tipo no se puede estudiar las variaciones espectrales de los diferentes tipos de vegetación y suelo (Li, et al., 2019). Se ha ido recopilando la emisividad para los modelos del clima global en la base de datos "*High-Quality Broadband Emissivity, BBE*" (Wang, et al., 2020).

Otro problema en relación con la emisividad es su medición por la noche ya que no se cuenta con las mediciones de las bandas VNIR. En la literatura consultada se plantea la suposición de que la emisividad no cambia significativamente entre el día y la noche durante periodos cortos de tiempo. Es así como a partir la emisividad de día se determina tanto la TS de noche o día (Nie, et al., 2021).



Actualmente, destaca que no se ha logrado encontrar la mejor metodología para determinar la emisividad a nivel urbano por la variabilidad de las superficies que hace difícil modelar el sistema (Weng, 2009); (Sekertekin & Bonafoni, 2020).

2.3.2 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Para estimar la emisividad se puede utilizar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual separa el efecto combinado de la Temperatura Superficial y la emisividad, al agregar información de las condiciones de la vegetación (Oltra-Carrió, et al., 2012).

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDV, "*Normalized Difference Vegetation Index*") estima la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación (Teruya, 2016).

NDVI se obtiene de la siguiente ecuación (Isaya & Avdan, 2016):

$$NDVI = \frac{3N - 2}{3N + 2}$$

En donde:

3N: Banda 3N

2: Banda 2

Se utiliza la ecuación anterior ya que la vegetación abundante absorbe la mayor parte de la luz visible y refleja una pequeña parte de la luz del infrarrojo cercano, en cambio una vegetación escasa refleja la luz visible y menos luz infrarroja cercana (Teruya, 2016). Se destaca que este índice no cuantifica la cantidad de vegetación presente por píxel, sino que es un indicador de la densidad de las hojas. Para cuantificar la abundancia de la vegetación es necesario mediciones físicas (Lu & Weng, 2005).

El valor del NDVI se encuentra en -1 y 1, un valor -1 significa que no hay vegetación y un valor 1 significa que hay vegetación de alta densidad con muchas hojas verdes (Teruya, 2016).

Los diferentes valores de NDVI permiten hacer la clasificación de la cobertura del suelo para poder estimar la emisividad (Acero & González-Asensio, 2018). En el 2012, se encontró que la



emisividad obtenida a partir del NDVI tiene valores similares a otras publicaciones (Oltra-Carrió, et al., 2012). Aunque en algunos casos se han encontrado que no representan realmente la realidad ya que no es la mejor manera para caracterizar materiales artificiales (Oltra-Carrió, et al., 2012). Igualmente se considera que los otros índices siempre van a tener problemas para explicar una parte de la realidad ya que son específicos por tipo de cobertura (Oltra-Carrió, et al., 2012).

Es por eso que para determinar la emisividad en una zona urbana es más recomendado usar los algoritmos TES (*Temperature and Emissivity Separation*) y TISI (*Temperature Independent Spectral Indices*), ya que representan mejor la realidad y distinguen mejor las superficies artificiales que componen el suelo, en el 2012 se encontró que los algoritmos TSE y TISI obtuvieron un error de raíz cuadrada de 0,04 y 0,03 respectivamente (Oltra-Carrió, et al., 2012). Aunque se considera que si en la zona de estudio urbana cuenta con parques se podría encontrar una relación significativa entre la Temperatura Superficial y NDVI, ya que en Rancagua (Chile) la ausencia de estos explica la ubicación y la intensidad de las altas temperaturas (Sarricolea, et al., 2008).

2.3.3 Fracción de Vegetación

La Fracción de Vegetación, P_v , es la cantidad de vegetación en cada píxel con respecto al área total del píxel, el cual se obtiene a partir del cálculo del NDVI (Fernández, 2018). En el 2004, se encontró que posee una correlación negativa con la Temperatura Superficial, al disminuir la Fracción de Vegetación aumenta la Temperatura Superficial (Lu & Weng, 2005).

Se obtiene de analizar el histograma NDVI y a partir de la siguiente ecuación (Bravo, 2017); (Isaya & Avdan, 2016):

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2$$

En donde:

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada



$NDVI_{max}$: Valor de NDVI máximo

$NDVI_{min}$: Valor NDVI mínimo

A partir de la Fracción de Vegetación se aproxima la emisividad por medio de la fórmula:

$$\varepsilon = 0,968 + 0,0022 \cdot Pv$$

2.4 Características morfológicas de la ciudad

La morfología urbana, el diseño del paisaje, la selección de la vegetación y de los materiales tiene especial relevancia en la Temperatura Superficial (Arellano & Rica, 2018). El estudio de los parámetros morfológicos y el efecto de estos sobre la Temperatura Superficial es importante, ya que permitirá en el futuro determinar políticas de planificación que mitiguen las Islas de Calor Urbanas.

La configuración de los edificios, el trazado de la red y los materiales que componen la ciudad modifican el balance de radiación entre el suelo y el aire, lo que produce una reducción en la evaporación, un aumento de la escorrentía superficial, una disminución de la velocidad y un aumento de la turbulencia del viento. El reflejo de cada uno de los efectos del balance de radiación es el aumento del calor superficial (Fernández, 2009).

La propiedad más estudiada hasta la fecha es la densidad de la edificación. En el primer informe donde se analizó fue el realizado por Yamashita en donde también se estudió la rugosidad y el factor de visión del cielo. Bello, V en el año 1994, relacionó la intensidad de las Islas de Calor Urbanas con la densidad para diferentes escenarios. Y por último se comparó la densidad y el crecimiento poblacional y la Temperatura Superficial (Sarricolea, et al., 2008).

Desde 1994, en diferentes investigaciones, se ha podido encontrar que las Islas de Calor Urbanas están condicionadas por factores geográficos y estructurales como: la densidad de las edificaciones, la presencia de zonas verdes, el tipo de cubierta vegetal, el relieve, la topografía, la elevación, la geometría urbana, la dinámica atmosférica, las condiciones meteorológicas, el tamaño de la ciudad, la población que habita en él, el tráfico urbano, la distribución a los



cuerpos de agua, la capacidad calórica y factor de vista de cielo (Cuadrat, et al., 2005); (Sarricolea, et al., 2008).

Estos parámetros se deben estudiar en cada ciudad y clima específicos para que se dé una mejor adaptación a las condiciones específica que generen mayor confort. Recordando que la idoneidad de las soluciones varía según las condiciones climáticas o la morfología de las ciudades (Cuesta, 2020).

En 1994, Moreno validó en la ciudad de Barcelona que las áreas verdes modifican y alteran la Temperatura Superficial. Oke en 1995 se concentró en estudiar el límite de las Islas de Calor Urbanas en donde identifiqué que las áreas verdes especialmente las arboladas tiene un efecto mayor de disipación. En el 2007, Yuan y Bauer destacan la importancia de las grandes áreas verdes para enfriar las superficies construidas de su entorno (Sarricolea, et al., 2008).

La configuración y ubicación de las Islas de Calor Urbana, no es constante: tienen una variabilidad espacial y temporal, la cual fue estudiada por Lowry en 1997 y Landsberg en 1981 en donde relacionaron las diferentes formas de las islas de calor con los flujos de viento y condiciones sinópticas (Cuadrat, et al., 2005).

Cuadrat, Vicente-Serrano y Saz en el 2005 realizaron un análisis de regresión múltiple por pasos en donde analizaron la relación de la Temperatura Superficial con la topografía, densidad urbana, vegetación y la reflectividad de los materiales. Al solo considerar la topografía se explica solo un 38% de la Temperatura Superficial, al agregarle la densidad urbana se explica un 62% y el modelo final que incluye las cuatro variables explica un 75% de la Temperatura Superficial.

De los muchos parámetros morfológicos que influyen en la Temperatura Superficial se destacan el concepto de los siguientes (Delgadillo, 2019):

- **Cañón urbano:** la cantidad de radiación solar que reciben los espacios, siendo la relación del ancho y alto de una edificación.
- **Densidad e intensidad edificada:** el total del suelo usado por cada predio catastral urbano es el número de viviendas o edificaciones por hectárea.



- **Rugosidad urbana:** la influencia en el desenvolvimiento de los vientos, relacionando la altura de los edificios y el cañón urbano.
- **Materiales de cobertura y superficie:** la capacidad de reflectancia de la radiación.
- **Factor de visión de cielo:** porcentaje de cielo visible desde un punto específico.

En cualquier caso, la Temperatura Superficial varia con respecto a tantos factores que es muy difícil llegar a explicar a un 100% el fenómeno (Cuadrat, et al., 2005).



Capítulo 3. Metodología

3.1 Esquema metodológico general

En la Figura 10 se presenta el esquema metodológico de la investigación con sus distintas fases.

El primer paso para desarrollar este trabajo fue seleccionar tres pares de imágenes del sensor ASTER de día y noche, las cuales tenían despejada la zona de estudio y menos de un 20% de nubosidad. A estas imágenes se les hizo las correcciones necesarias para estimar la emisividad y la Temperatura Superficial (TS).

Para estimar la Temperatura Superficial hay que determinar la emisividad ya que es dependiente de esta, para establecer la emisividad se seleccionó trabajar con el método del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Este método a partir de las bandas 3N y 2 permite determinar la densidad de la vegetación presente en cada píxel estudiado y a partir de este indicador estimar la emisividad. Al tener la emisividad se pudo determinar la TS. Todos los cálculos se realizaron con la calculadora ráster del programa QGIS.

El análisis de la relación entre las Islas de Calor Urbana y la cobertura del suelo, inicia al calcular el Índice I de Moran. Al comprobar que hay factores que determinan la ubicación de las Temperaturas Superficiales, los puntos son clasificados en siete grupos para estudiar la relación de las condiciones meteorológicas y la TS. Posterior a este paso se le asigna una clasificación de cubierta de suelo a cada píxel que permitirá realizar una prueba ANOVA para comprobar la igualdad de las medias y después una prueba "Post Hoc Test", en la cual se pueda determinar el conjunto de categorías de suelo que tiene medias iguales.

Además, por medio de pruebas de regresión lineal se buscó relacionar la Temperatura Superficial y las características morfológicas, las cuales son: Suelo libre, Techo construido, Elevación, Número de plantas, Zona verde por edificación y Distancia a zona verde.

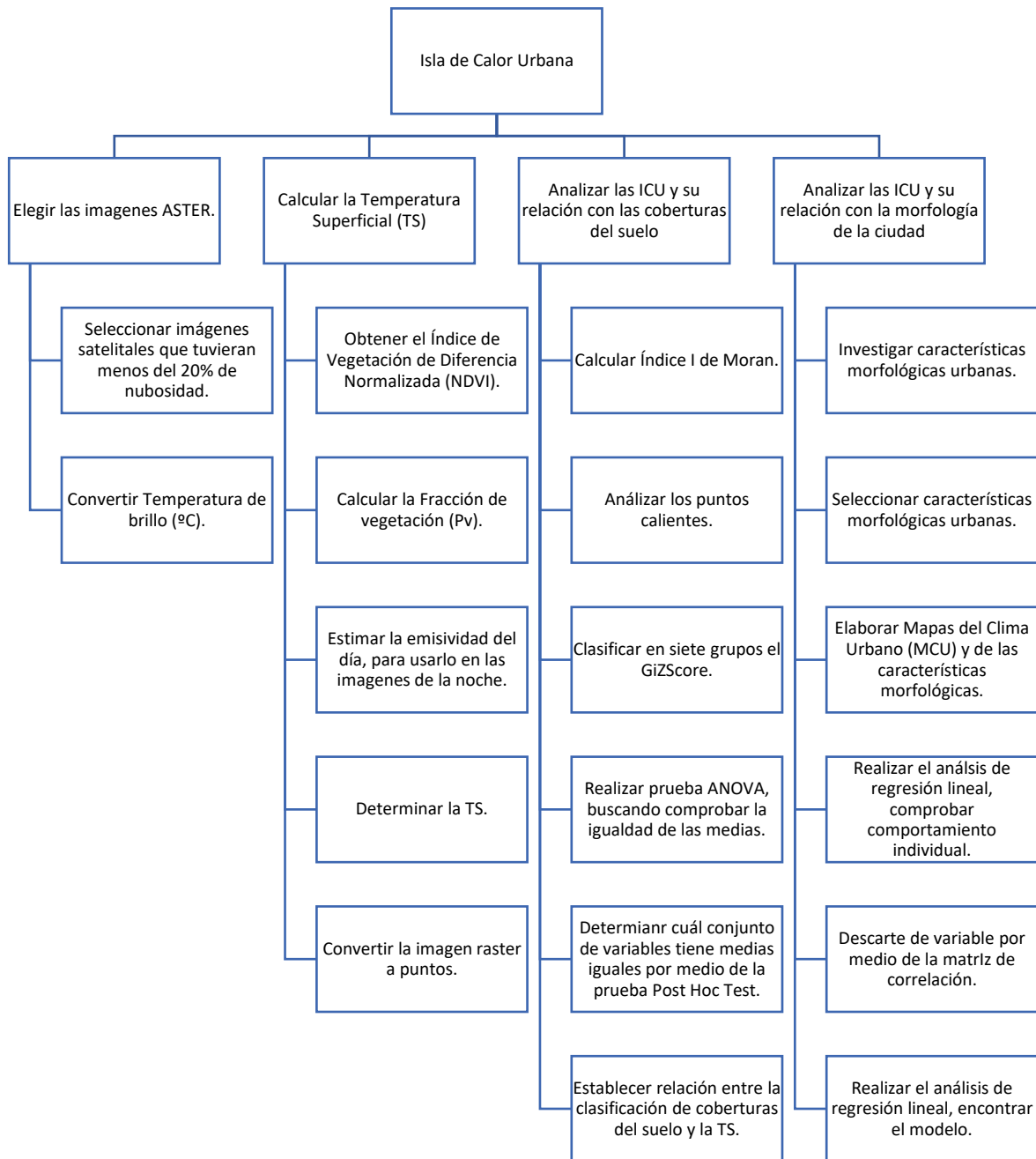


Figura 10. Esquema metodológico de la investigación con sus distintas fases



3.2 Alcance

- El sensor que se escogió es el ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) el cual orbita en satélite "Terra".
- Se establecerá la Temperatura Superficial a partir de las imágenes satelitales y algoritmos de estimación, no se realizar mediciones en campo.
- Se van a utilizar imágenes satelitales con un máximo de 20% de nubosidad.
- La banda 13 es la que se utiliza para estimar la emisividad superficial.
- Se determinar una emisividad por píxel, para así aprovecha la resolución 90 m del sensor ASTER.
- La emisividad de día que es una característica de cada material se utilizara para estimar la Temperatura Superficial de la noche.
- La clasificación de cubierta de suelo que se utiliza es la del SIOSE de la Comunitat Valenciana.
- Se va a estudiar la Temperatura Superficial en relación con las características morfológicas urbanas dejando por fuera las propiedades químicas y físicas de los materiales que conforma las superficies de las ciudades y omitiendo las condiciones meteorológicas.
- La evaluación estadística de las variables morfológicas de la ciudad se limitará en un análisis de regresión lineal.

3.3 Condiciones meteorológicas

- Las estaciones meteorológicas convencionales están a las afueras de la ciudad, así que no se tiene los datos para establecer la temperatura de las ciudades.
- Comportamiento diferencial entre el día y la noche de la temperatura, ya que por el día los diferentes elementos van acumulando el calor y en la noche estos son disipados.
- Se van a utilizar imágenes satelitales con solo un 10% de nubosidad.
- La banda 13 es la que se utiliza para estimar la emisividad superficial.
- Se determinar una emisividad por pixel, para así aprovecha la resolución 90 m del sensor ASTER.



- La emisividad de día que es una característica de cada material se utilizara para estimar la Temperatura Superficial de la noche.

3.4 Selección de las imágenes ASTER

Las imágenes satelitales con las que se estudia y determina la Temperatura Superficial (TS) y las Islas de Calor Urbano se descargaron y se corrigieron en el programa QGIS con la herramienta "*Semi-Automatic Classification Plugin*", (SCP) versión 7.10.6 – Matera, la cual realiza la corrección de la Temperatura de brillo en °C (Congedo, 2021). Esta herramienta fue creada por Luca Congedo, la cual permite descargar imágenes satelitales gratuitas, procesarlas y hacer cálculos ráster. Se debe crear antes un usuario para la descarga de imágenes en la página EARTHDATA de la NASA.

Las imágenes seleccionadas para realizar esta investigación son tres pares de imágenes ASTER de día y noche: marzo 2017, agosto/noviembre 2018 y mayo 2021 (Cuadro 4). Estas imágenes cumplen con tener menos del 20% de nubosidad y que en la zona de estudio estuviera despejada.

Cuadro 4. Imágenes seleccionadas del sensor ASTER

Día		Noche	
Fecha	ASTER Imagen	Fecha	ASTER Imagen
25/03/2017	RT_AST_L1T_00303252017105447_20170326091144_12025	16/03/2017	RT_AST_L1T_00303162017220536_20170317085447_24894
19/08/2018	RT_AST_L1T_00308192018105610_20180820133206_5393	23/11/2018	RT_AST_L1T_00311232018215945_20181127171037_27959
07/05/2021	RT_AST_L1T_00305072021105254_20210508111845_18908	07/05/2021	RT_AST_L1T_00305072021215732_20210508092259_8521

Al seleccionar la imagen con la que se va a trabajar se debe convertir la radiación espectral en Temperatura de brillo en grados Celsius, lo cual lo hace automáticamente la herramienta al seleccionar: "Temperatura de brillo en Celsius" y "Aplicar la corrección atmosférica DOSQ" (Congedo, 2016). Al haber realizado las correcciones anteriores ya se puede pasar a estimar la emisividad y la Temperatura Superficial.

3.5 Cálculo de la Temperatura Superficial (TS)

En diferentes investigaciones se han realizado mediciones radiométricas en superficie, en laboratorio e in situ y han sido comparadas con las aproximaciones por medio de los algoritmos de la Temperatura Superficial y la emisividad, estas investigaciones encontraron que las bandas 10 y 11 presentan fluctuaciones en los resultados por su cercanía a la atmósfera. La banda 12 presenta mediciones desfavorables desde el lanzamiento del sensor por problemas de calibración, obteniendo datos erróneos. Es así como no se recomienda el uso de estas bandas para estimar la Temperatura Superficial y emisividad ya que no logran medir correctamente por el contraste espectral bajo (Barreto, et al., 2010).

Las bandas más recomendadas para estimar la Temperatura Superficial y por ende los Mapas de Clima Urbano (MCU) son la 13 y 14 (Barreto, et al., 2010). Se destaca que la banda 13 presenta un menor valor de desviación estándar y R^2 comparado con las demás bandas (Isaya & Avdan, 2016). Además, el ancho espectral de la banda 13 se encuentra cercano al pico de radiación de los cuerpos negros disipados por las superficies (Feizizadeh & Blaschke, 2013); (Lu & Weng, 2005).

Siendo así de las 14 bandas del sensor ASTER para determinar la TS se utilizan las bandas 2 y 3N en el espectro visible e infrarroja cercana (VNIR) y la banda 13 (10,25-10,95 μm), del subsistema TIR con una resolución de 90 m (Figura 11).

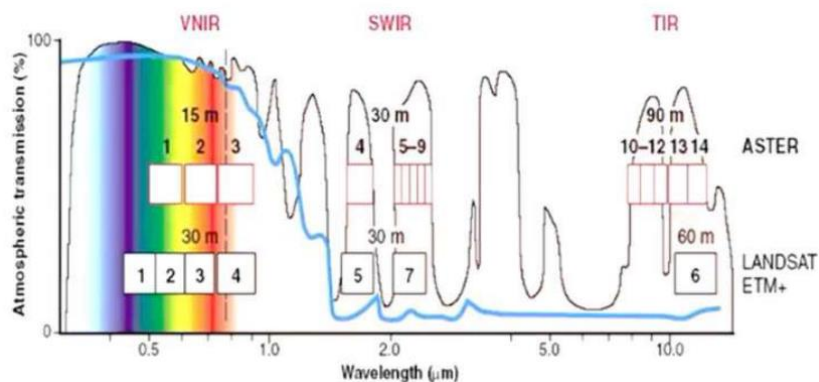


Figura 11. Resolución espectral (micrómetro) del ASTER y LANSDAT

Fuente: (Bravo, 2017)



La información almacena en la banda 13 es proyectada por medio del programa QGIS en el formato de imagen ráster. Esta imagen debe ser georreferenciada para que cuente con las mismas coordenadas geográficas del proyecto, las cuales son EPSG:25830 – ETRS89 / UTM zona 30N, a partir de puntos conocidos y la herramienta “Georreferenciador...”.

Al contar con las imágenes y el proyecto en las mismas coordenadas, se recortan las imágenes en función de la zona de estudio delimitada, con ayuda de la herramienta: “Cortar ráster por extensión”. Es a partir de esta imagen que se realizan los cálculos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Fracción de vegetación (Pv), emisividad y Temperatura Superficial, con la ayuda de la “Calculadora de ráster”.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada para cada píxel se calcula por medio de la banda 3N o NIR y la banda 2 o RED, según la siguiente ecuación (Isaya & Avdan, 2016):

$$NDVI = \frac{3N - 2}{3N + 2}$$

A partir de los valores NDVI obtenidos se debe hacer un análisis del histograma para así determinar el NDVI máximo y NDVI mínimo, los cuales permitirán calcular la Fracción de vegetación (Pv), estos son valores específicos para cada imagen (Bravo, 2017):

$$Pv = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2$$

El valor NDVI mínimo ($NDVI_{min}$) el cual corresponderá al suelo desnudo y el NDVI máximo ($NDVI_{max}$) el que corresponderá a la máxima vegetación (Pasapera, 2014). Estos valores se establecen a partir del histograma (Isaya & Avdan, 2016).

Antes de realizar el análisis del histograma, hay que preparar la información, siendo necesario establecer un “*shapefile*” delimitando el área de estudio y sin los cuerpos de agua que tiene un comportamiento atípico que no se debe incluir al momento de determinar el $NDVI_{max}$ y $NDVI_{min}$. La zona de estudio se delimita del “*shapefile*” “Recintos municipales” y a este “*shapefile*” se le quitan las cubiertas del suelo con un valor de CODIIGE mayor a 500, las cuales son: los cursos



de agua, lago o laguna, embalse, lámina de agua artificial, mar y glaciar y/o nieve perpetua. Este "shapefile" final permite recortar la imagen ráster con los valores del NDVI de la zona en estudio. Los valores de interés son exportados con su ubicación a Excel para obtener el histograma, y a partir de este determinar los valores máximos y mínimos para cada imagen para obtener la Fracción de vegetación (Pv).

El proceso explicado anteriormente se debe aplicar para cada una de las imágenes seleccionadas. Es importante resaltar que las imágenes nocturnas no disponen de la información de las bandas NIR (3N) y RED (2), es por ello por lo que en este trabajo se considera que la emisividad en el día es igual a la emisividad nocturna (Alipour, et al., 2004).

La emisividad se estima mediante la ecuación (Isaya & Avdan, 2016):

$$\varepsilon = 0.968 + 0.0022 \cdot Pv$$

Tanto la emisividad como la Temperatura Superficial son trabajadas en formato ráster y los cálculos de estas se realizan por medio de la herramienta de QGIS calculadora ráster. Esta herramienta a partir de la ecuación ingresada calcula para cada píxel el valor de la emisividad y la Temperatura Superficial (TS) (Feizizadeh & Blaschke, 2013); (Bravo, 2017):

$$TS = \frac{T_b}{\left[1 + \left(\frac{\lambda \cdot T_b}{C_2}\right) \cdot Ln_{LSE}\right]} - 273$$

Al haber aproximado la Temperatura Superficial las imágenes ráster son convertidas a un documento "shapefile" (.shp) de puntos para más fácil manipulación y análisis (QGIS Development Team, 2022).

3.6 Análisis de las ICU

A partir de los puntos generados de la imagen ráster con la Temperatura Superficial (TS) se analiza el Índice I de Moran para cada imagen. Este índice permite analizar la auto correlación espacial de los valores, evalúa la Temperatura Superficial para determinar si tiene una localización agrupada o dispersa. Este índice puede tomar valores de -1 a 1 cuando se obtiene



un valor positivo se está frente al caso donde los valores altos están agrupados entre sí y los valores bajos también, teniendo una localización de clúster (agrupada); mientras que cuando el índice es negativo, se tiene una distribución dispersa. Cuando el índice es igual a cero es que los valores altos equilibran a los valores bajos (Esri, 2018).

También en el análisis de Índice I de Moran se determina el valor p y la puntuación de z. Se entiende como valor p a la probabilidad de que el patrón espacial observado se haya creado mediante algún proceso aleatorio y por su parte las puntuaciones z son desviaciones. Cuando las puntuaciones z son muy altas o bajas y están relacionadas con valores p muy pequeño los datos se encuentran en las colas de la distribución normal, indicando que es muy poco probable que el patrón espacial estudiado sea el resultado de un proceso aleatorio rechazando la hipótesis nula (Esri, 2018).

El análisis del Índice I de Moran se realiza en el programa ArcGIS con la herramienta "*Spatial Autocorrelation (Morans I)*" en donde se ingresan los siguientes parámetros de entrada:



Cuadro 5. Parámetros de entrada de la herramienta "Spatial Autorrelation (Morans I)"

Parámetro de entrada	Descripción
"Input Feature Class"	Capa de puntos con los valores de la Temperatura Superficial (TS).
"Input Field"	La variable de la capa en donde esta almacena la información de la Temperatura Superficial (TS).
"Generate Report (optional)"	Casilla para obtener un reporte del proceso que se está realizando.
"Conceptualization of Spatial Relationships" (conceptualización de relaciones espaciales)	Se selecciona "Inverse distance", que en español significa distancia de umbral. Su función es garantizar que cada entidad tenga como mínimo un vecino.
"Distance Method"	Se selecciona "Eivclidean_distance", que en español significa distancia en línea recta entre dos puntos. Su función es determinar cómo calcular la distancia entre entidades vecinas.
"Standardization"	Se selecciona "None", que en español significa ninguna. Su función es estandarizar las filas cuando la distribución de estas este potenciado por el diseño de muestra.
"Distance Banda or Threshold Distance (optional)"	Se indica la longitud que abarque toda la zona de estudio, esta puede ser variable o fija en este caso de análisis es fija de 12.600 m.
"Matriz File (optional)"	Se deja en blanco en este caso de estudio. Se utiliza para señalar la dirección del archivo con la matriz de las relaciones espaciales.

Después de haber comprobado que los datos no tienen un comportamiento aleatorio se realiza un "Análisis de puntos calientes", en el cual se reclasifica los datos a partir de agrupar los datos semejantes y asignarles un valor "GIZScore" a los puntos (Esri, 2021).

Los puntos calientes (Getis–Ord G_i^*) se analizaron en el programa ArcGIS con la herramienta "Hot Spot Analysis (Getis–Ord G_i^*)", con los paramentos de entrada siguientes:



Cuadro 6. Parámetros de entrada de la herramienta "Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*)"

Parámetro de entrada	Descripción
"Input Feature Class"	Capa de puntos con los valores de la Temperatura Superficial (TS).
"Input Field"	La variable de la capa en donde esta almacena la información de la Temperatura Superficial (TS).
"Output Feature Class"	Se indica el nombre y la dirección en donde se quieren almacenar los resultados del análisis de puntos calientes.
"Conceptualization of Spatial Relationships" (conceptualización de relaciones espaciales)	Se selecciona "Inverse distance", que en español significa distancia de umbral. Su función es garantizar que cada entidad tenga como mínimo un vecino.
"Distance Method"	Se selecciona "Eivclidean_distance", que en español significa distancia en línea recta entre dos puntos. Su función es determinar cómo calcular la distancia entre entidades vecinas.
"Standardization"	Se selecciona "None", que en español significa ninguna. Su función es estandarizar las filas cuando la distribución de estas este potenciado por el diseño de muestra.
"Distance Banda or Threshold Distance (optional)"	Se indica la longitud que abarque toda la zona de estudio, esta puede ser variable o fija en este caso de análisis es fija de 12.600 m.
"Self Potential Field (optional)"	Se deja en blancos en nuestro caso de estudio.
"Weights Matrix File (optional)"	Se deja en blanco en nuestro caso de estudio. Se utiliza para señalar la dirección del archivo con la matriz de las relaciones espaciales.

Con ello, las variables meteorológicas fueron estudiadas en comparación con las zonas más calientes, para identificar cuál de las variables meteorológicas explican la concentración de los puntos en esas zonas.

3.7 Análisis de los puntos calientes y fríos en su relación con las categorías de cubiertas del suelo

Para comprobar la relación entre temperatura y cobertura del suelo, se utilizó los datos SIOSE esta base de datos presenta la ocupación del suelo a una escala de 1:25.000. El SIOSE es un "shapefile" de polígonos con uno o varios atributos. Para su estudio, se trabajó con el tipo mayoritario de coberturas, denominado "CODIIGE" que clasifica las coberturas del suelo como se presenta en el



Cuadro 7. Se utilizó el SIOSE del año 2015 ya que a fecha de hoy en la Comunitat Valenciana no existe más reciente.



Cuadro 7. Clasificación CODIIGE de cubiertas del suelo

CODIIGE	Descripción	Descripción final utilizada
111	Casco	Casco
112	Ensanche	Ensanche
113	Discontinuo	Discontinuo
114	Zona verde urbana	Zona verde urbana
121	Instalación agrícola y/o ganadera	Huerta de Valencia
122	Instalación forestal	No aplica a la zona de estudio
123	Extracción minera	No aplica a la zona de estudio
130	Industrial	Industrial
140	Servicio dotacional	Servicio dotacional
150	Asentamiento agrícola y huerta	No aplica a la zona de estudio
161	Red viaria o ferroviaria	Red viaria o ferroviaria
162	Puerto	No se incluye en el análisis
163	Aeropuerto	No aplica a la zona de estudio
171	Infraestructura de suministro	Infraestructura de suministro
172	Infraestructura de residuos	Huerta de Valencia
210	Cultivo herbáceo	Huerta de Valencia
220	Invernadero	No aplica a la zona de estudio
231	Frutal cítrico	Huerta de Valencia
232	Frutal no cítrico	No aplica a la zona de estudio
233	Viñedo	No aplica a la zona de estudio
234	Olivar	No aplica a la zona de estudio
235	Otros cultivos leñosos	No aplica a la zona de estudio
236	Combinación de cultivos leñosos	No aplica a la zona de estudio
240	Prado	No aplica a la zona de estudio
250	Combinación de cultivos	Huerta de Valencia
260	Combinación de cultivos con vegetación	Huerta de Valencia
311	Bosque de frondosas	No aplica a la zona de estudio
313	Bosque mixto	No aplica a la zona de estudio
312	Bosque de coníferas	No aplica a la zona de estudio
320	Pastizal o herbazal	Huerta de Valencia
330	Matorral	Huerta de Valencia
340	Combinación de vegetación	Huerta de Valencia
351	Playa, duna o arenal	No se incluye en el análisis
352	Roquedo	No aplica a la zona de estudio
353	Temporalmente desarbolado por incendios	No aplica a la zona de estudio
354	Suelo desnudo	Suelo desnudo
411	Zona húmeda y pantanosa	No aplica a la zona de estudio
412	Turbera	No aplica a la zona de estudio
413	Marisma	No aplica a la zona de estudio
414	Salina	No aplica a la zona de estudio
514	Lámina de agua artificial	No se incluye en el análisis
511	Curso de agua	Curso de agua
512	Lago o laguna	No se incluye en el análisis
513	Embalse	No se incluye en el análisis
515	Mar	No se incluye en el análisis
516	Glaciar y/o nieve perpetua	No se incluye en el análisis

Fuente: (Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, 2005)



Es importante aclarar que se eliminaron del análisis las coberturas de Puerto, Playa, duna o arena, Lámina de agua artificial, Lago o laguna, por estar fuera del ámbito urbano. Además, en la zona de estudio no se presentan las siguientes coberturas: Instalación forestal, Extracción minera, Asentamiento agrícola y huerta, Aeropuerto, Invernadero, Frutal no cítrico, Viñedo, Oliva, Otros cultivos leñosos, Combinación de cultivos leñosos, Prado, Bosque de frondosas, Bosque mixto, Bosque de coníferas, Roquedo, Temporalmente desarbolado por incendios, Zona húmeda y pantanosa, Turbera, Marisma y Salinas.

Por último, se destaca que bajo el nombre Huerta de Valencia se unificaron los siguientes CODIIGE: Instalación agrícola y/o ganadera, Infraestructura de residuos, Cultivo herbáceo, Frutal cítrico, Combinación de cultivos, Combinación de cultivos con vegetación, Pastizal o herbazal, Matorral y Combinación de vegetación (Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, 2005).

Para comprobar la igualdad de las medias de la Temperatura Superficial calculada se realiza un análisis ANOVA en una dirección, siendo esta la hipótesis nula. En los casos en donde se obtiene un valor p menor a 0,05 se puede rechazar la hipótesis nula, estando en el caso de que algunas medias son iguales, pero se desconoce cuáles y su relación. En este caso es necesario realizar una prueba a posterior llamada "*Post Hoc Test*", comparando cada una de las variables para identificar el conjunto que tiene medias iguales (Esri, 2018).

3.8 Análisis de las ICU y su relación con la morfología de la ciudad

Como aproximación inicial a los parámetros morfológicos de la ciudad se realizaron primero unos perfiles de temperatura para analizar de manera gráfica la relación entre temperatura y la altura de la edificación.

El primer parámetro estudiado fue la elevación de las edificaciones para la noche del 07/05/2021. La elevación de los edificios es la diferencia entre la elevación de la edificación (MDS05_ETRS89_H30_0722_COB1) y la elevación del terreno (MDT_malla_5m_etr89h30), así obteniendo la elevación del edificio sin considerar la elevación del terreno.

Además, se definieron tres perfiles (Figura 12, Figura 13 y Figura 14) que incluyeran hitos de la configuración de la ciudad como: la Huerta de Valencia, Red viaria o ferroviaria, Parque del Río Turia, Plaza de la Reina, Ensanche, Suelo al descubierto y Estación Joaquín Sorolla.



Figura 12. Perfil 1

Fuente: elaboración propia sobre la imagen satelital del ESRI, (Esri, 2022)



Figura 13. Perfil 2

Fuente: elaboración propia sobre la imagen satelital del ESRI, (Esri, 2022)



Figura 14. Perfil 3

Fuente: elaboración propia sobre la imagen satelital del ESRI, (Esri, 2022)

Este análisis inicial permitió observar la complejidad y la variación de la Temperatura Superficial (TS) con respecto a las diferentes superficies y a las zonas verdes, lo cual sumando a los hallazgos de análisis ANOVA y "Post Hoc Test", permitió definir los parámetros morfológicos que se describieran a continuación.

Antes de definir los parámetros seleccionadas se debe considerar que para trabajar cada una de las variables morfológicas se trabajó con una malla de cuadrados de 90 por 90 metros, la cual tiene la misma área y ubicación que un pixel de la imagen ráster. Trabajando la Temperatura Superficial no como un punto sino como un polígono que asociada a toda la superficie definida por el cuadrado de 90 por 90m.

Se definieron seis variables que se pueden ver en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Variables morfológicas urbanas seleccionadas para analizar su relación con la Temperatura Superficial

Variable	Unidades
Suelo libre	m ² s
Techo construido	m ² t
Elevación	m
Número de plantas	m ² s/m ² t
Distancia a zona verde	m
Zona verde por edificación	píxel/m ² t

A continuación, se definen cada una de estas variables:

- **Suelo libre:** metros cuadrados de suelo libre en la malla de 90 por 90 metros, calculado como la resta de la superficie de la malla y el suelo ocupado por edificaciones según la base de datos de catastro. Unidad, m² de suelo (m²s).

$$\text{Suelo libre} = 8100 - \sum \text{Superficie ocupada por la edificación m}^2\text{s}$$

Cuadro 9. Suelo libre y su representación de valor máximo, medio y mínimo en el área de estudio



Mínimo: 0 m²s



Media: 5.408 m²s



Máximo: 8.096 m²s

- **Techo construido:** la suma de la superficie de techo construida de todas las plantas que componen el edificio dentro de un píxel de 90 por 90 metros, siendo su unidad, m² de techo (m²t). Se considera un indicador de densidad, ya que es la sumatoria del área

de cada piso construido, aportando información tanto de altura como de área de suelo construido. La información se obtiene de la base de datos de catastro.

$$\text{Techo construido} = \sum \text{Superficie construida } m^2t$$

Cuadro 10. Techo construido y su representación de valor máximo, medio y mínimo en el área de estudio



Máximo: 86.582 m²t



Media: 13.649 m²t



Mínimo: 0 m²t

- **Elevación:** la diferencia entre la elevación de la edificación y la elevación del terreno en metros. Los datos provienen del Centro de Descargas del Organismo Autónomo Centro Nacional de Información Geográfica de la base de datos LiDAR (“Light Detection and Ranging”, detección remota basada en un escáner laser), la cual es una colección de puntos que incluyen sus coordenadas tridimensionales clasificados en diferentes categorías. La elevación de la edificación se obtiene del Modelo Digital de Superficies (MDS), el cual es el modelo digital de la superficie y la elevación del terreno viene del Modelo Digital del Terreno (MDT).

$$\text{Elevación} = \text{MDS} - \text{MDT } m$$

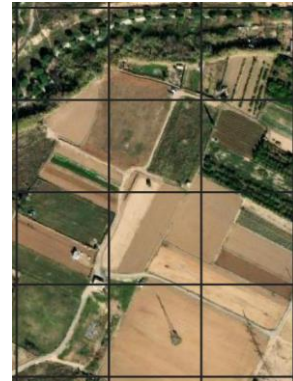
Cuadro 11. Elevación y su representación de valor máximo, medio y mínimo en el área de estudio



Máximo: 37,1 m



Media: 7,3 m



Mínimo: 0,0 m

- **Número de plantas:** es la altura media de los edificios medido en número de plantas. Se calcula dividiendo el Techo construido por la superficie ocupada por los edificios dentro del píxel de 90 por 90 metros, siendo su unidad, m² de techo entre m² de suelo (m²t/m²s), de la base de datos de catastro.

$$\text{Número de plantas} = \frac{\sum \text{Superficie construido}}{\sum \text{Superficie ocupada por la edificación}} \text{ m}^2\text{t/m}^2\text{s}$$

Cuadro 12. Número de plantas y su representación de valor máximo, medio y mínimo en el área de estudio



Máximo: 20,0 m²t/m²s



Media: 5,0 m²t/m²s



Mínimo: 0,0 m²t/m²s

- **Distancia a zona verde:** es la distancia a la zona verde urbana o a la Huerta de Valencia más próxima. Se consideraron como zona verde urbana y Huerta de Valencia los valores CODIGE del SIOSE siguientes. Para la zona verde urbana el 144 (zona verde urbana) y para la Huerta de Valencia: 121 (instalación agrícola y/o ganadera), 172 (infraestructura de residuos), 210 (cultivo herbáceo), 231 (Frutal cítrico), 250 (combinación de cultivos), 260 (combinación de cultivos con vegetación), 320 (pastizal o herbazal), 330 (matorral) y 340 (combinación de vegetación). Para obtener la distancia se utiliza la herramienta del programa QGIS "*Matriz de distancia*". Se mide en metros.

Cuadro 13. Distancia a zona verde y su representación de valor máximo, medio y mínimo en el área de estudio



Máximo: 1.173 m



Media: 291 m



Mínimo: 90 m

- **Zona verde por edificación:** es una medición de la cantidad de zona verde según el volumen de edificación. Se calcula combinando la superficie de zona verde obtenido como la sumatoria de píxeles con vegetación y el techo construido, teniendo como unidad: píxel/m²t. La sumatoria de píxeles con vegetación corresponde a la superficie ocupada por vegetación. Se obtiene a partir de la nube de puntos LiDAR. Se usa el productor MDSnV2,5 correspondiente a la cobertura del suelo clasificada, con una malla de 2,5m. El archivo ráster almacena la altura de la vegetación en metros, siendo de interés para la investigación la cantidad de píxeles con vegetación dentro del píxel de

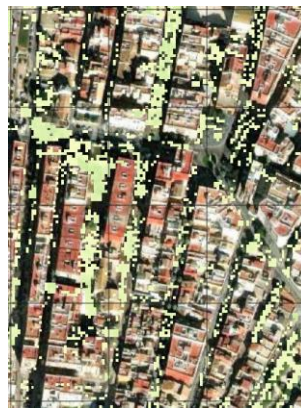
estudio de 90 por 90 metros. Se utilizó la herramienta del programa QGIS “Estadística de zona” para obtener la sumatoria de píxeles de vegetación. La capa utilizada es NDSM – Vegetacion - ETRS89 – H30 – 0722 – COB1.

$$\text{Zona verde por edificación} = \frac{\sum \text{Píxel con vegetación}}{\text{Techo construido}} \text{ píxel/m}^2\text{t}$$

Cuadro 14. Zona verde por edificación y su representación de valor máximo, medio y mínimo en el área de estudio



Máximo: 575,00 píxel/m²t



Media: 0,67 píxel/m²t



Mínimo: 0,00 píxel/m²t

Con todo ello, se construyó una base de datos donde la información de cada píxel de 90 x 90 m, se trabaja con un punto en el centroide del píxel, es así como las columnas de la base de datos son las siguientes:

- ID
- Coordenadas X
- Coordenadas Y
- TS 2021-05-07 (°C)
- TS 2018-11-23 (°C)
- TS 2017-03-16 (°C)
- Suelo libre (m²s)
- Techo construido (m²t)
- Elevación (m)



- Número de plantas (m^2t/m^2s)
- Distancia a zona verde (m)
- Zona verde por edificación (píxel/ m^2t)

Se cuenta con 5159 puntos, esta cantidad de puntos se obtiene después de descartar los puntos sin edificación en superficie en donde se incluyen los sótanos y/o los parqueos de vehículos.

La base de datos se ingresó en formato Excel al programa Jamovi (versión 2.3.17) con el fin de efectuar un análisis de regresión lineal. Previamente a la regresión, se realizaron un análisis descriptivo y exploratorio de los datos.

Lo primero que se revisa es la relación lineal de cada una de las características morfológicas y Temperatura Superficial por separado con el objetivo de comprobar previamente el comportamiento individual de la variable. Posteriormente, se estudia la normalidad de las variables: para eso se analiza la asimetría y el valor de Kurtosis de la variable sin ninguna modificación y el logaritmo natural de la variable. Finalmente, se realiza la matriz de correlación para descartar las variables que tiene una alta correlación entre sí. La alta correlación se presenta cuando el valor de Pearson es igual o cercano a uno.

Una vez realizado el análisis exploratorio y listas las variables, se realiza el análisis de la regresión de las variables morfológicas, para encontrar el efecto de las características urbanas seleccionadas sobre la Temperatura Superficial.



Capítulo 4. Resultados

4.1 Islas de Calor Urbana

La Temperatura Superficial (TS) de la zona de estudio fue determinada para cada una de las fechas seleccionadas, a partir de tres pares de imágenes ASTER de día y noche (Cuadro 15). Las imágenes ASTER se pueden visualizar en las figuras: Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19 y Figura 20 en las cuales a partir de una escala de negros se está representando los valores de la Banda 13, en negro los valores mínimo y en blanco los valores más altos de la longitud de onda infrarroja térmica a $10,659 \mu\text{m}$. A cada una de estas imágenes, hubo que hacerles luego la corrección de la radiación espectral y referenciarla para concordar con las coordenadas del proyecto.

Cuadro 15. Fecha y hora de las imágenes seleccionadas del sensor ASTER:

Día		Noche	
Fecha	Hora	Fecha	Hora
25/03/2017	10:55:00	16/03/2017	22:05:31
19/08/2018	10:56:10	23/11/2018	21:59:45
07/05/2021	10:52:49	07/05/2021	21:57:25

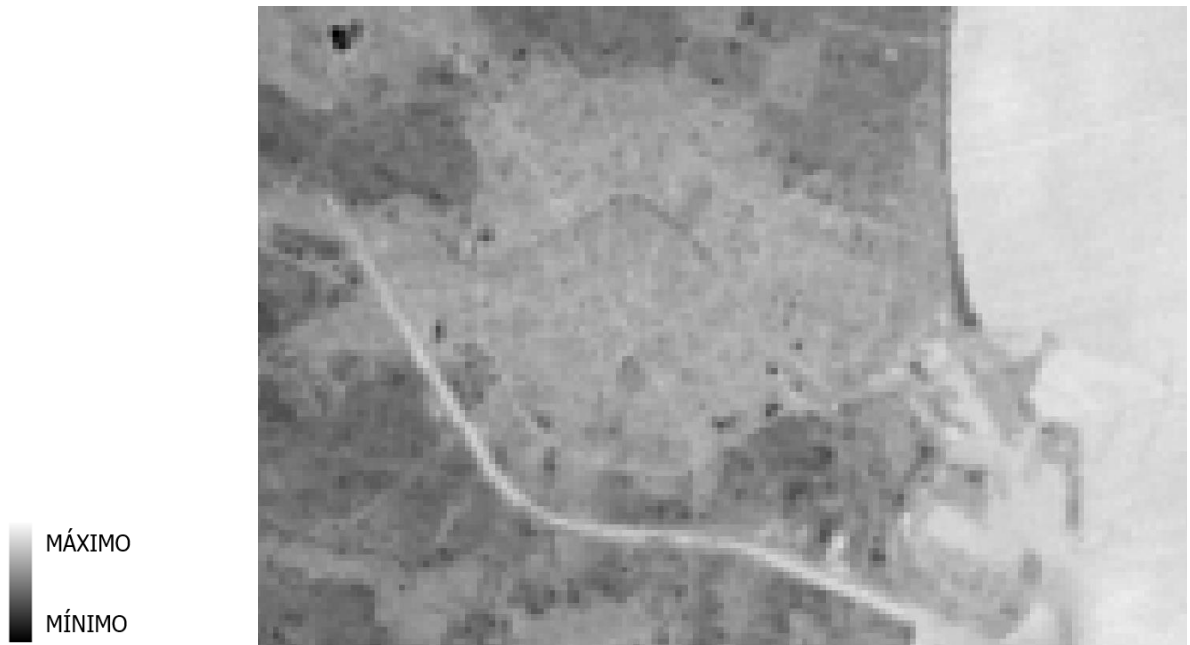


Figura 15. Imagen ASTER representación de la banda 13 del 16 de marzo del 2017 de la noche

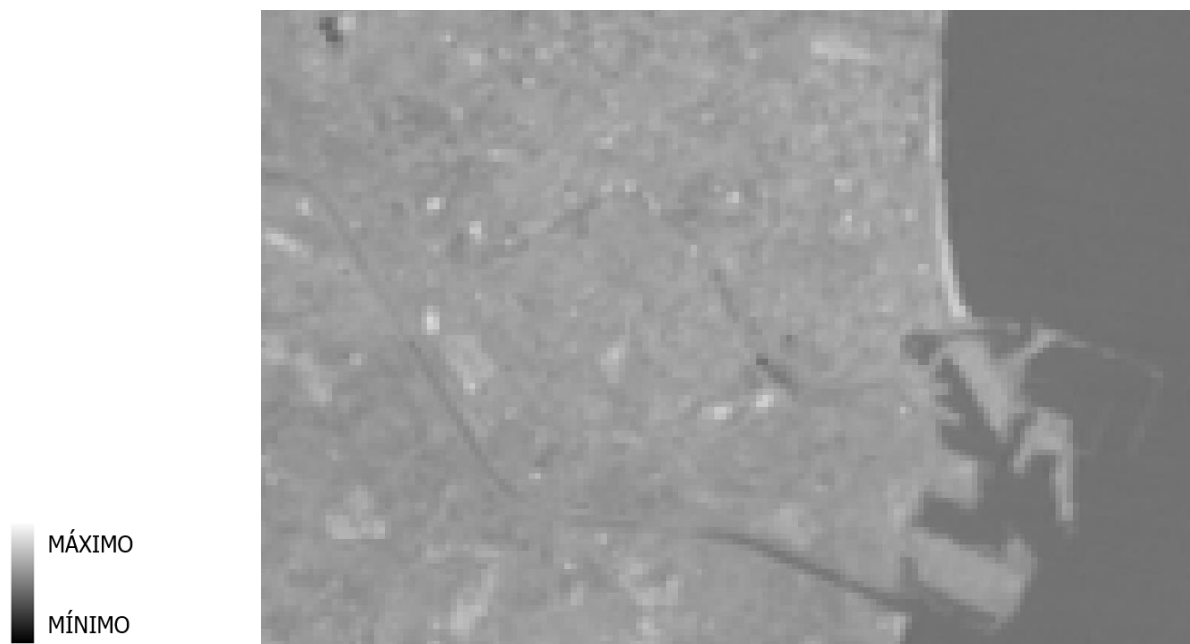


Figura 16. Imagen ASTER representación de la banda 13 del 25 de marzo del 2017 del día

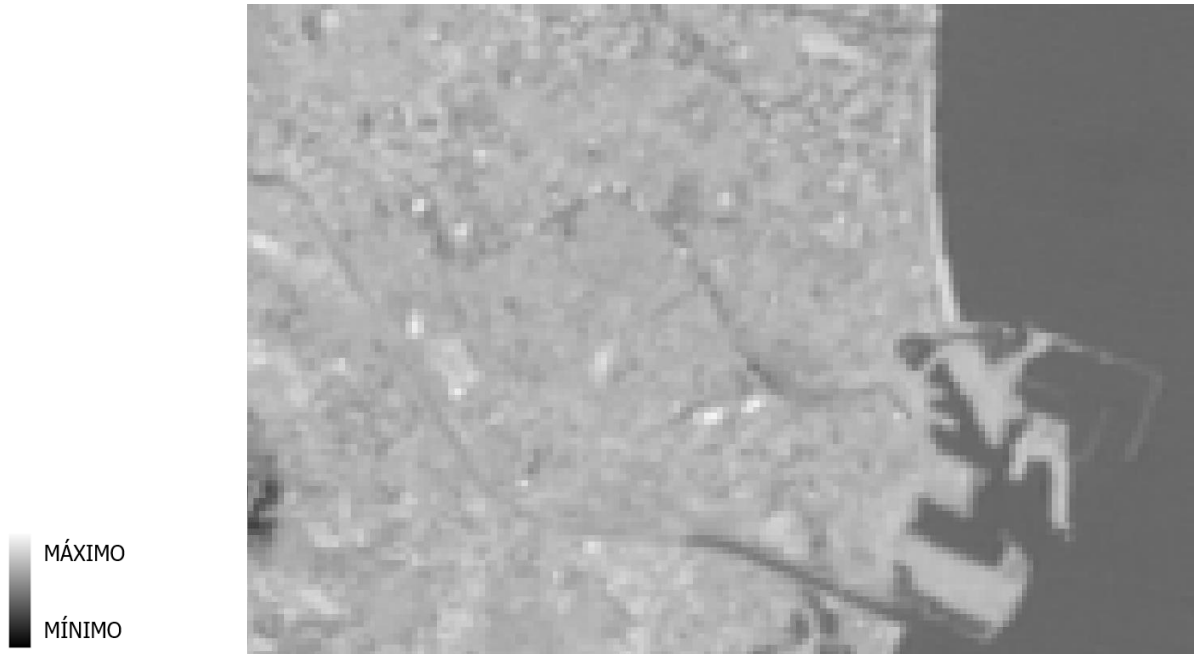


Figura 17. Imagen ASTER representación de la banda 13 del 19 de agosto del 2018 del día

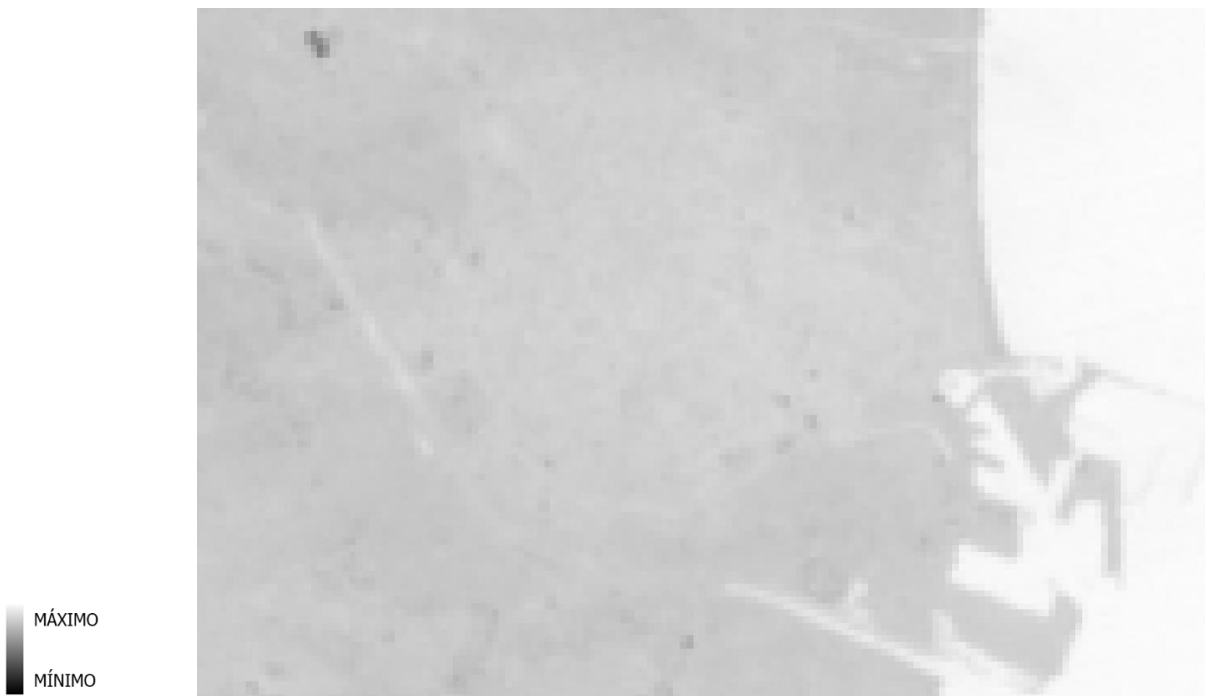


Figura 18. Imagen ASTER representación de la banda 13 del 23 de noviembre del 2018 de la noche

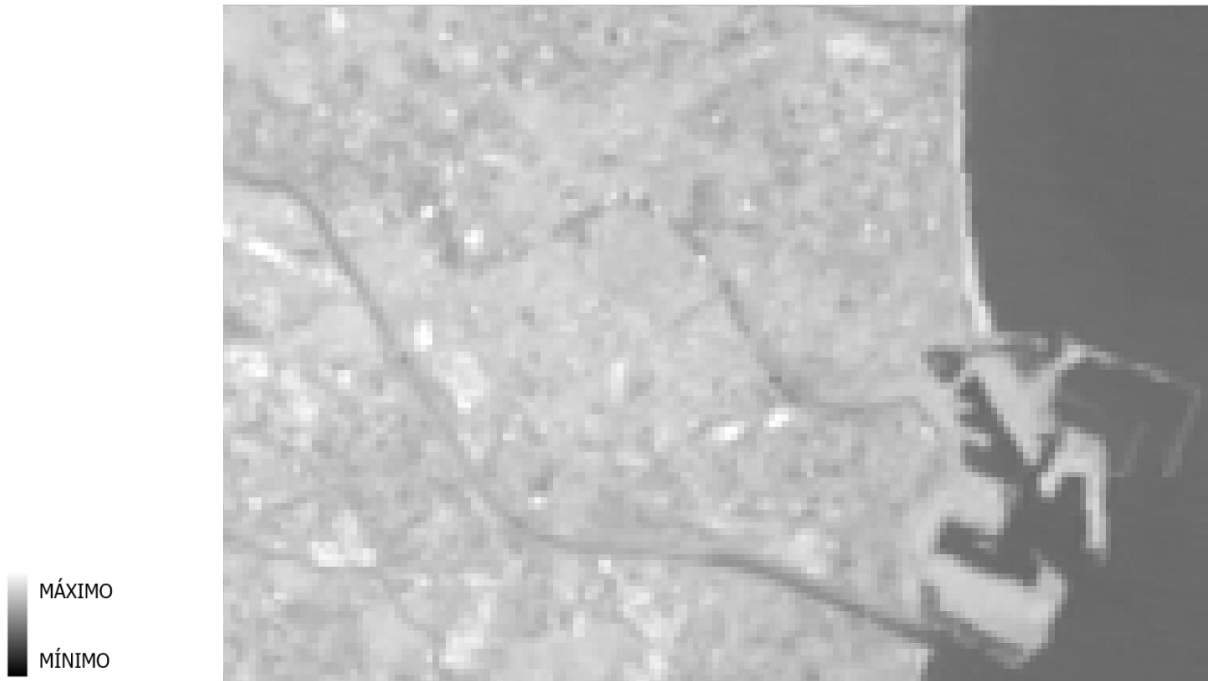


Figura 19. Imagen ASTER representación de la banda 13 del 07 de mayo del 2021 del día

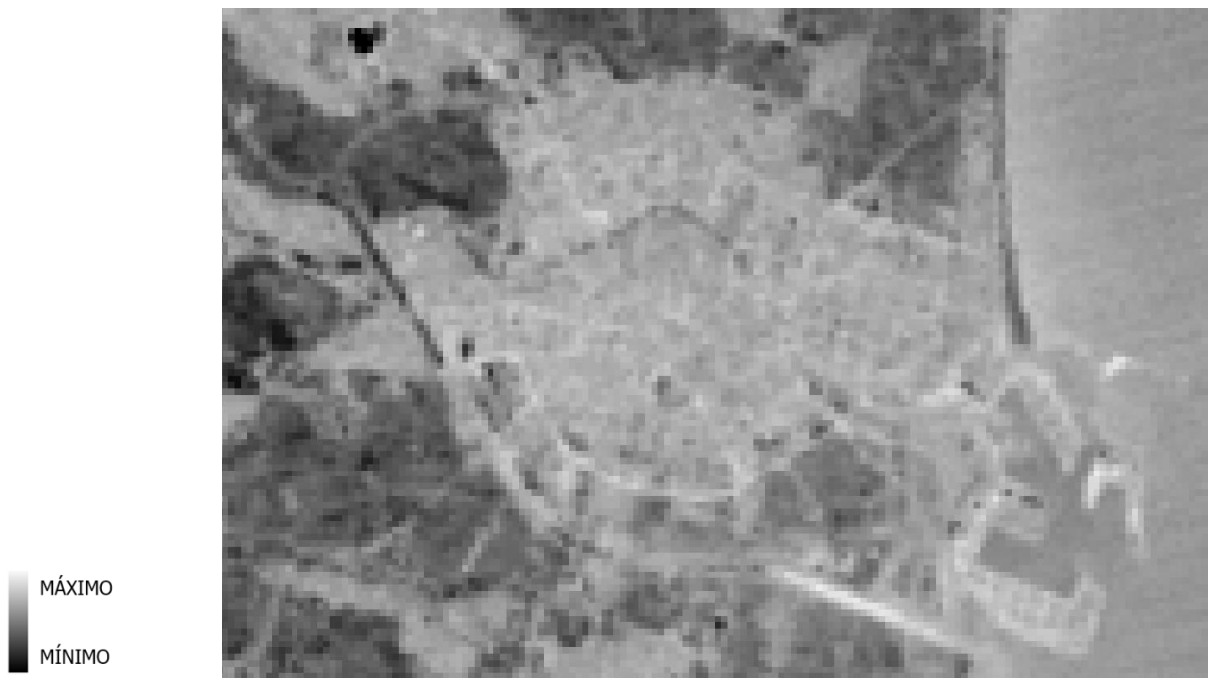


Figura 20. Imagen ASTER representación de la banda 13 del 07 de mayo del 2021 de la noche



En las siguientes imágenes (Figura 21) en color azul se representan las Temperaturas Superficiales mínimas y en color rojo las Temperaturas Superficiales máximas. En Cuadro 16 se resumen los valores de la Temperatura Superficial mínima, media y máxima para cada uno de los casos estudiados. En el Anexo 1 se puede detallar cada uno de los Mapas de la Temperatura Superficial generados.

Cuadro 16. Resumen de la Temperatura Superficial mínima, media y máxima para las cosas estudiados

Fecha	Día o Noche	Temperatura Superficial Mínima (°C)	Temperatura Superficial Media (°C)	Temperatura Superficial Máxima (°C)
25/3/2017	Día	12,838	21,591	34,188
16/3/2017	Noche	4,919	9,726	13,722
19/8/2018	Día	28,256	37,839	49,901
23/11/2018	Noche	4,142	7,891	13,538
7/5/2021	Día	24,720	34,715	54,158
7/5/2021	Noche	13,272	17,942	21,240

A simple vista, se puede observar el efecto enfriador de la Huerta de Valencia, especialmente en las imágenes de la noche (b, d y f de la Figura 21), ya que en general presenta temperaturas más bajas. En las imágenes de día (a, c y e de la Figura 21) y en la noche (b y f de la Figura 21) se puede apreciar el efecto que tiene el Parque del Antiguo Cauce del Río Turia para disminuir la Temperatura Superficial a su alrededor. También se puede identificar en las imágenes de la noche la diferencia entre la Temperatura Superficial en las zonas donde predominan los bloques residenciales y densos.

El efecto de una estructura artificial tan importante como el Puerto de Valencia ocasionado altas Temperatura Superficiales se presenta en todos los casos estudiados en la Figura 21.

Por último, siendo más claro en las imágenes nocturnas se puede observar el efecto del nuevo cauce del Río Turia, el cual presenta un comportamiento diferenciado. Presenta mayor Temperatura Superficial en especial en su desembocadura, debido a que el cauce pasa mayoritariamente seco y está rodeado de una vía de tres carriles a cada lado. El agua tiene una gran capacidad de adsorber energía durante el día y esta es liberada en la noche, es por



eso que el cauce se visualizar con mayor facilidad en las imágenes nocturnas. También resulta muy cambiante su comportamiento según las distintas fechas.

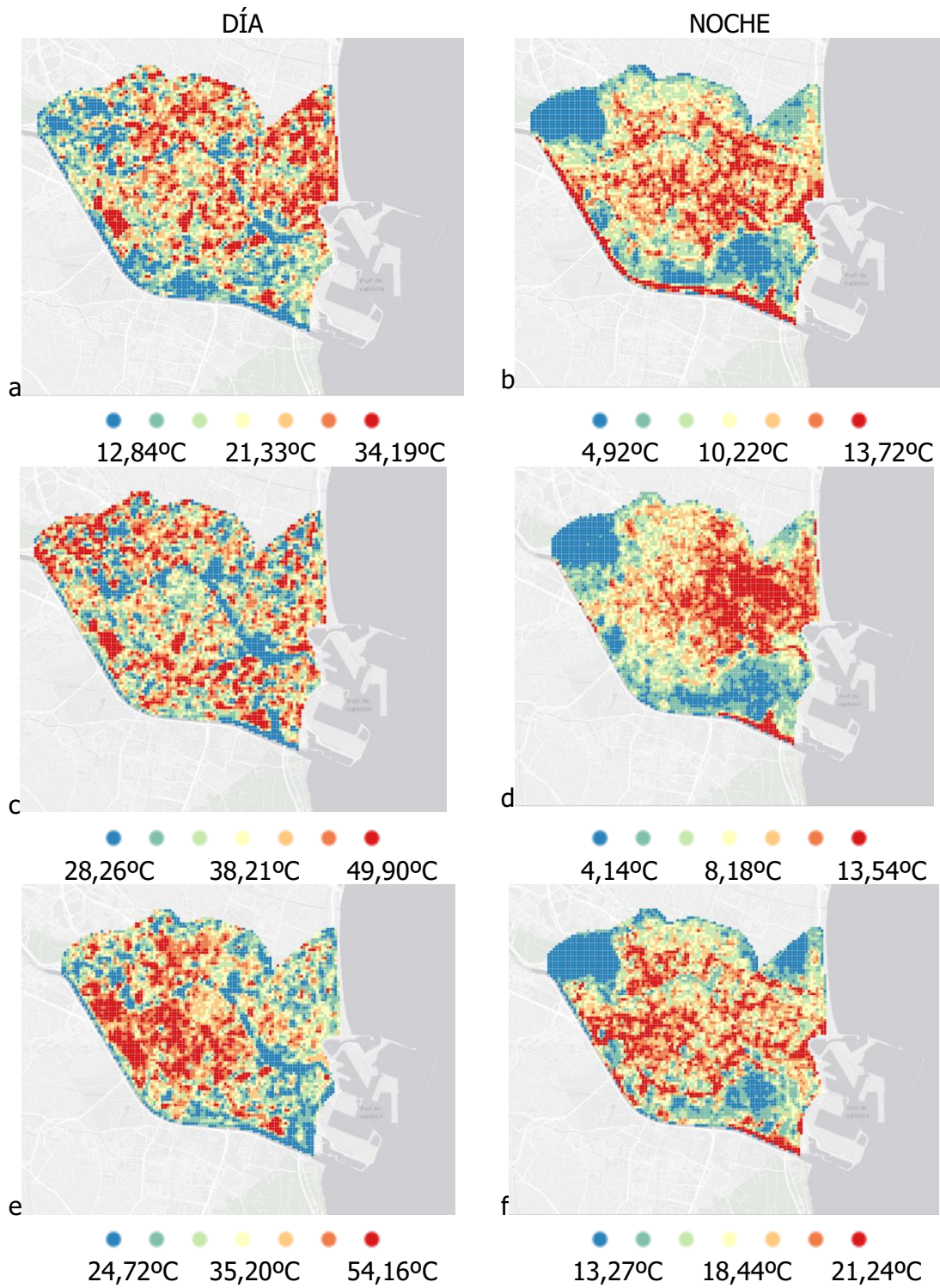


Figura 21. Temperatura Superficial (TS) en °C: a. 25/03/2017 día; b. 16/03/2017 noche, c. 19/08/2018 día, d. 23/11/2018 noche, e. 07/05/2021 día y f. 07/05/2021 noche.

Del análisis visual de los valores de Temperatura Superficial se puede deducir que existe cierta influencia de las condiciones meteorológicas. En la Figura 22 las temperaturas altas fueron representadas por separado y relacionadas con la dirección de los vientos. A simple vista, se puede observar cierta relación con la ubicación de los puntos altos y la dirección de estos, lo cual puede ser un factor condicionante en la interpretación de los resultados.

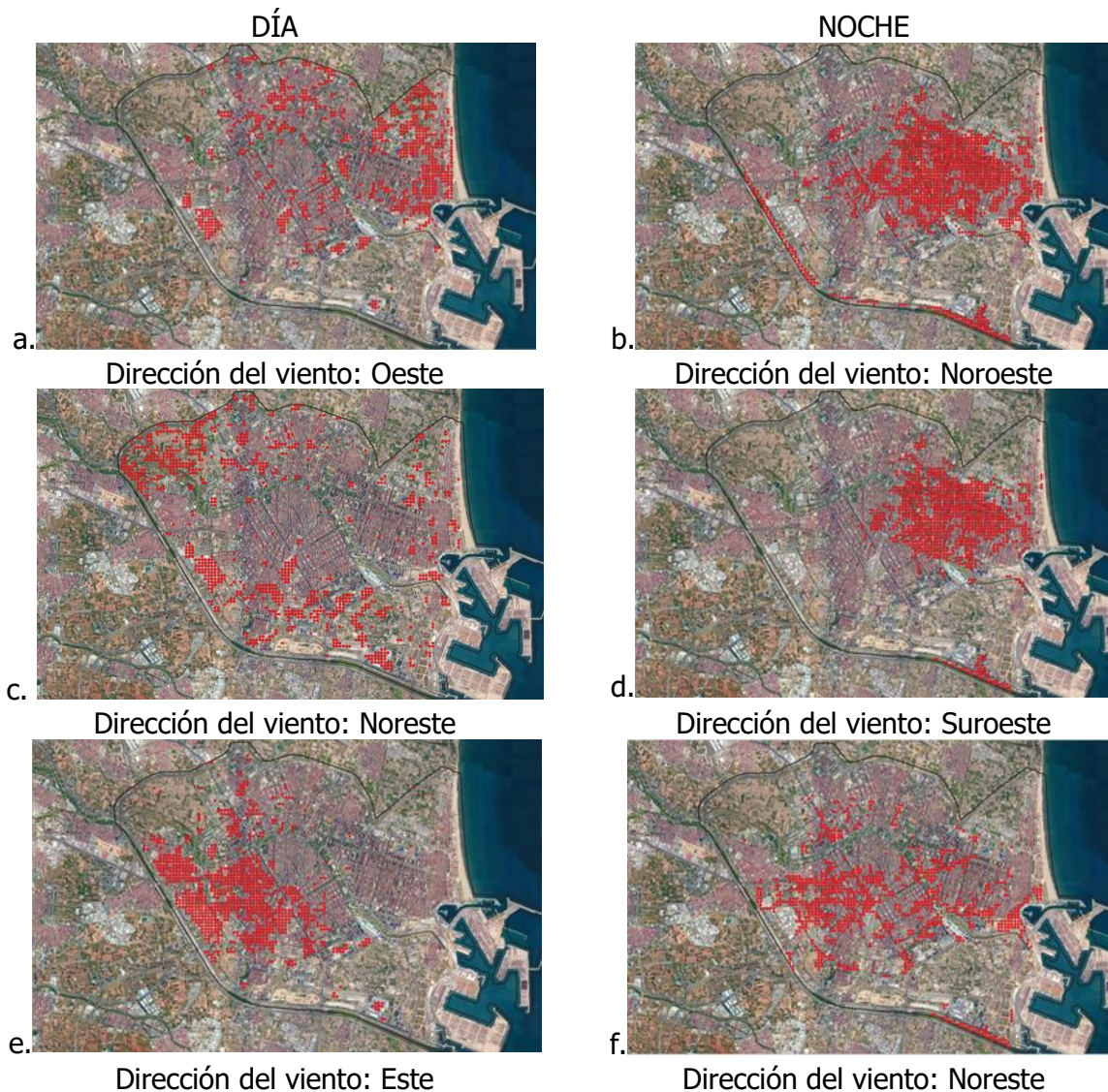


Figura 22. Concentración de los puntos de calor y la dirección de los vientos (a. 25/03/2017 día, b. 16/03/2017 noche, c. 19/08/2018 día, d. 23/11/2018 noche, e. 07/05/2021 día y f. 07/05/2021 noche)



Al calcular el Índice I de Moran (Cuadro 17) con el fin de revisar que la distribución espacial no es un proceso aleatorio, el valor de p es igual a cero para cada una de las imágenes estudiadas siendo muy poco probable que el patrón observado sea el resultado de un proceso aleatorio. El valor p es estadísticamente significativo y el puntaje z es positivo con valores altos, mostrando así que hay una distribución de los valores altos y bajos en clústeres. Comprobando que la distribución espacial no es fruto de un proceso aleatorio.

Cuadro 17. Resultados del Índice I de Moran

Fecha/Hora	Índice I de Moran	Índice Esperado	Varianza	z-puntaje	p-valor
25/03/2017 – 10:55:00	0,056554	-0,000149	0	204,797358	0
16/03/2017 – 22:05:31	0,108456	-0,000149	0	391,721004	0
19/08/2018 – 10:56:10	0,024697	-0,000149	0	90,126541	0
23/11/2018 – 21:59:45	0,153994	-0,000149	0	556,080158	0
07/05/2021 – 10:52:49	0,08186	-0,000149	0	296,301856	0
07/05/2021 – 21:57:25	0,080565	-0,000149	0	292,207661	0

Aunque la correlación espacial existe en todas las imágenes, es más difícil de observar las Islas de Calor Urbano (ICU) durante el día ya que obtenemos valores del Índice de Moran muy bajos de 0,06 para el 2017 y de 0,02 para el 2018 en comparación con los valores de noche de 0,11 para el 2017 y de 0,15 para el 2018. En el caso del 2021 tenemos un mismo valor para el día y la noche de 0,08, teniendo un comportamiento similar en la distribución de los puntos calientes y fríos. Además, en el día existen puntos de calor y frío dispersos en toda la ciudad que actúan como pequeños focos de calor o frío. Los puntos calientes pueden relacionarse con la infraestructura, la zona industrial y las instalaciones distribuidas por la ciudad. Hay puntos calientes muy específicos que se pueden relacionar con algunos techos de edificios de industrias y con los espacios de césped artificial de los centros deportivos y de las canchas de fútbol. La Huerta de Valencia es un espacio abierto alrededor de la ciudad que presenta una distribución heterogénea de Temperatura Superficial ya que su configuración son mosaicos de cultivos en diferentes procesos de crecimiento teniendo emisividades diferentes.

4.2 Influencia de los usos del suelo en la temperatura

Antes de entrar en el análisis de morfología urbana se hizo una primera aproximación al problema con los usos del suelo. En la Figura 23 se presenta los resultados de la Temperatura



Superficial media y su relación con la clasificación de las cubiertas del suelo por medio de los diferentes diagramas de bigotes y cajas, en donde se puede ver a simple vista la diferencia de las temperaturas según la clasificación de las cubiertas del suelo.

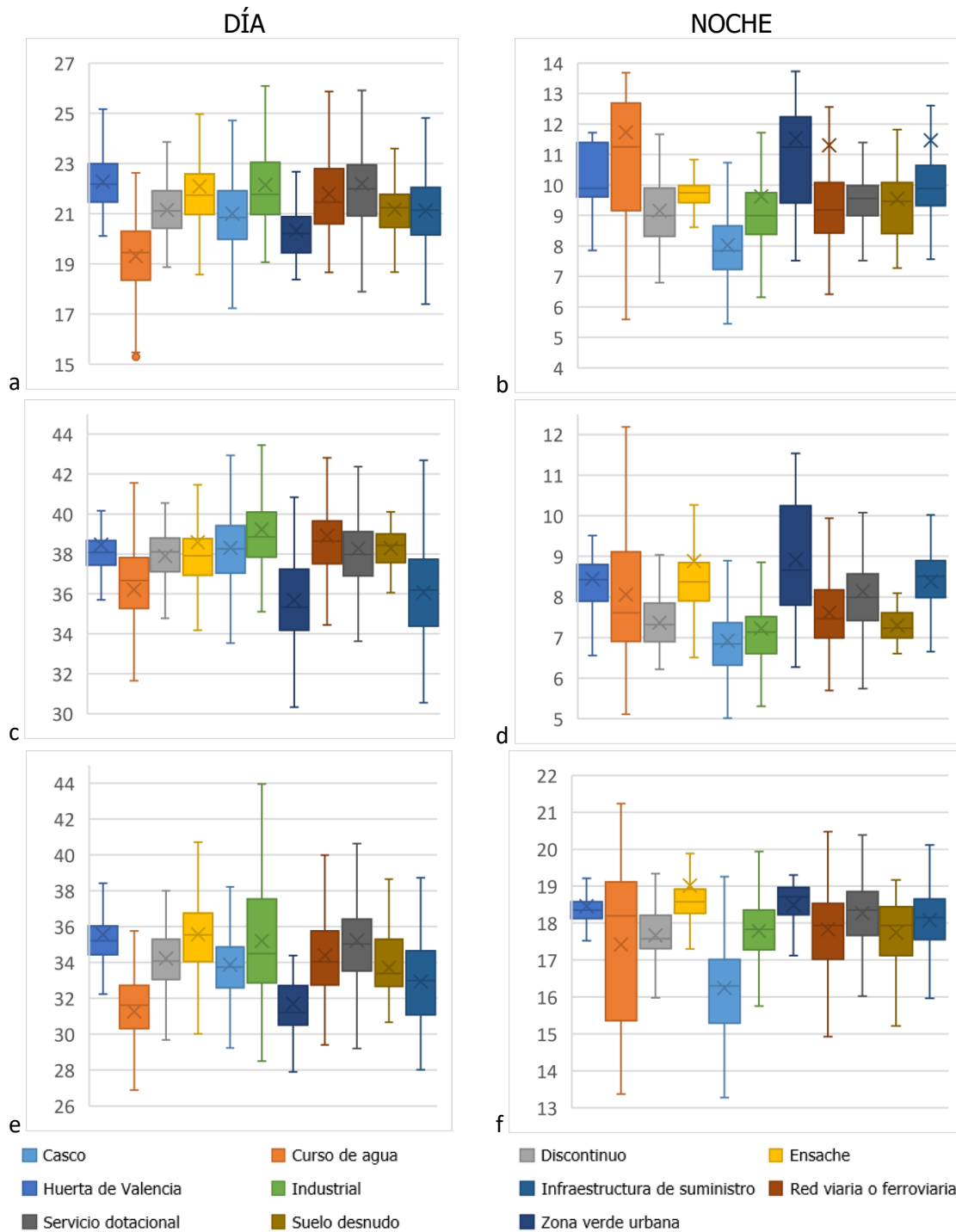


Figura 23. Media de la Temperatura Superficial (TS) según la clasificación de las cubiertas de suelo (a. 25/03/2017 día, b. 16/03/2017 noche, c. 19/08/2018 día, d. 23/11/2018 noche, e. 07/05/2021 día y f. 07/05/2021 noche)



En el Cuadro 18, se puede apreciar como el Casco está en promedio 2,0°C más caliente que la mediana de la Temperatura Superficial. El Ensanche es 3,5°C más caliente, se destaca el caso de la imagen del 16 de marzo de 2017, en donde se da una diferencia de 16,7°C con respecto a la mediana de 11,5°C. La Huerta de Valencia es en promedio 1,1°C más fría que la temperatura mediana y la Zona verde urbana es de 0,5°C. El Suelo dotacional, el cual tiene un destino de uso público, el cual puede ser, un centro sanitario, colegio y/o edificio de la administración, tiene una diferencia de 1,0°C mayor a la mediana en promedio. La clasificación de cubierta de suelo Discontinuo presenta en promedio una diferencia de 0,6°C con respecto a la mediana.

Cuadro 18. Temperatura Superficial según la clasificación de cubierta de suelo

Fecha / Clasificación cobertura de suelo	16/03/2017 NOCHE		25/03/2017 DÍA		19/08/2018 DÍA		23/11/2018 NOCHE		07/05/2021 DÍA		07/05/2021 NOCHE	
Mediana	11,5		21,2		38,3		8,1		34,2		17,8	
a. Temperatura media b. Diferencia entre la Mediana y Temperatura media	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Casco	19,7	8,3	22,3	1,1	38,5	0,2	8,4	0,4	35,6	1,3	18,5	0,6
Curso de agua	11,7	0,3	19,3	-1,9	36,2	-2,1	8,1	0,0	31,3	-3,0	17,4	-0,4
Discontinuo	9,2	-2,3	21,1	0,0	37,9	-0,4	7,4	-0,7	34,2	0,0	17,7	-0,2
Ensanche	28,1	16,7	22,1	0,9	38,6	0,3	8,9	0,8	35,6	1,4	19,0	1,2
Huerta de Valencia	8,0	-3,4	21,0	-0,2	38,3	0,0	6,9	-1,1	33,9	-0,3	16,2	-1,6
Industrial	9,6	-1,8	22,1	1,0	39,2	0,9	7,2	-0,8	35,2	1,0	17,8	0,0
Infraestructura de suministro	11,5	0,1	20,3	-0,8	35,7	-2,6	8,9	0,9	31,7	-2,5	18,5	0,7
Red viaria o ferroviaria	11,3	-0,2	21,8	0,6	38,9	0,6	7,6	-0,4	34,4	0,2	17,8	0,0
Servicio dotacional	14,7	3,3	22,2	1,0	38,3	0,0	8,1	0,1	35,2	1,0	18,3	0,4
Suelo desnudo	9,5	-1,9	21,2	0,0	38,3	0,0	7,3	-0,8	33,7	-0,5	17,7	-0,1
Zona verde urbana	11,5	0,0	21,1	0,0	36,1	-2,2	8,4	0,3	32,9	-1,3	18,1	0,2
Promedio	13,2	1,7	21,3	0,2	37,8	-0,5	7,9	-0,1	34,0	-0,2	17,9	0,1

Para confirmar que la diferencia entre los grupos de medias es estadísticamente significativa, se realizó una prueba ANOVA, los resultados se encuentran en el Cuadro 19 donde se confirma que el valor de p es menor a 0,001 para todas las imágenes siendo la diferencia entre las clasificaciones de las cubiertas de suelo significativas.



Cuadro 19. Resultados del ANOVA en una dirección

Fecha	Día - Noche	Prueba	F	df1	df2	p
25/03/2017	Día	Welch's	84,6	10	587	< 0,001
		Fisher's	79,7	10	6694	< 0,001
16/03/2017	Noche	Welch's	366	10	576	< 0,001
		Fisher's	323	10	6694	< 0,001
19/08/2018	Día	Welch's	52,6	10	582	< 0,001
		Fisher's	56,8	10	6694	< 0,001
23/11/2018	Noche	Welch's	363	10	582	< 0,001
		Fisher's	278	10	6694	< 0,001
07/05/2021	Día	Welch's	130	10	585	< 0,001
		Fisher's	110	10	6694	< 0,001
07/05/2021	Noche	Welch's	285	10	579	< 0,001
		Fisher's	297	10	6694	< 0,001

En los cuadros: Cuadro 21, Cuadro 22 y Cuadro 22 se presentan los resultados de la prueba posterior "Post Hoc Test" para las noches estudiadas, estos resultados ayudan a definir cuáles son los pares de categorías con diferencias significativas en sus medias. Se analizan las noches ya que presentan un comportamiento más homogéneo que las imágenes del día, además no se ven afectados por la radiación solar.

De los resultados de la prueba a posterior "Post Hoc Test" de la noche del 16 de marzo del 2017 (Cuadro 20) se puede concluir:

- El **Casco** no registra diferencia significativa con las medias de temperatura de las categorías de Curso de agua, Ensanche e Infraestructura de suministro. En la noche el Casco tiene una temperatura mayor que las demás categorías con las que registra una diferencia significativa en las medias, resaltando que es: 2,2°C más que la Huerta de Valencia, 0,2°C más que la Zona verde urbana, 0,7°C con la Red viaria o ferroviaria, 1,1°C más que Discontinuo y 1,0°C más que Industrial.
- El **Ensanche** es una zona de alta densidad urbana construida en el último siglo. Tiene una diferencia significativa con las categorías de cubiertas de suelo, excepto con la Infraestructura de suministro, Casco y Curso de agua. La diferencia varía en el intervalo de 2,3°C más que la Huerta de Valencia a 0,4°C que la cubierta de suelo Servicio



Dotacional. Además, tiene una Temperatura Superficial de $0,4^{\circ}\text{C}$ más que la Zona verde urbana y de $1,1^{\circ}\text{C}$ más que la cubierta Industrial.

- La **Zona verde urbana** tiene una diferencia significativa con las otras categorías de cubiertas del suelo, excepto con Servicio dotacional y Curso de agua. Es más baja que la media de temperatura: del Suelo desnudo ($-0,5^{\circ}\text{C}$), Discontinuo ($-0,9^{\circ}\text{C}$), Huerta de Valencia ($-1,9^{\circ}\text{C}$), Industrial ($-0,8^{\circ}\text{C}$) y Red viaria o ferroviaria ($-0,4^{\circ}\text{C}$) y más alta que Casco ($0,2^{\circ}\text{C}$), Ensanche ($0,4^{\circ}\text{C}$) e Infraestructura de suministro ($1,0^{\circ}\text{C}$).
- La **Huerta de Valencia** tiene una diferencia significativa con todas las categorías de cubiertas de suelo. La Huerta de Valencia tiene una temperatura más baja que las clasificaciones de coberturas de suelo entre $-1,1$ y $-3,0^{\circ}\text{C}$: Ensanche ($-2,3^{\circ}\text{C}$), Infraestructura de suministro ($-3,0^{\circ}\text{C}$), Casco ($-2,1^{\circ}\text{C}$), Servicio dotacional ($-1,9^{\circ}\text{C}$), Zona verde urbana ($-1,9^{\circ}\text{C}$), Industrial ($-1,1^{\circ}\text{C}$), Red viaria o ferroviaria ($-1,5^{\circ}\text{C}$) y Discontinuo ($-1,1^{\circ}\text{C}$).

Cuadro 20. Resultados de la prueba posterior "Post Hoc Test" para la noche del 16 de marzo del 2017 (a, Diferencia de las medias, b, p-valor)

		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	a	0,475	1,092	-0,11	2,180	1,031	-0,741	0,655	0,297	0,7441	0,242
	b	0,835	< ,001	0,065	< ,001	< ,001	0,166	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001
B	a		0,617	-0,585	1,71	0,556	-1,216	0,179	-0,178	0,2688	-0,233
	b		0,602	0,576	< ,001	0,686	0,057	1	1	0,999	0,999
C	a			-1,20	1,09	-0,061	-1,833	-0,438	-0,795	-0,348	-0,85
	b			< ,001	< ,001	1	< ,001	0,042	< ,001	0,653	< ,001
D	a				2,3	1,141	-0,63	0,765	0,407	0,8543	0,3523
	b				< ,001	< ,001	0,351	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001
E	a					-1,154	-2,925	-1,53	-1,888	-1,441	-1,943
	b					< ,001	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001
F	a						-1,771	-0,376	-0,734	-0,287	-0,789
	b						< ,001	0,007	< ,001	0,719	< ,001
G	a							1,395	1,037	1,4847	0,9827
	b							< ,001	0,01	< ,001	0,019
H	a								-0,358	0,0894	-0,413
	b								< ,001	1	< ,001
I	a									0,4472	-0,055
	b									0,071	0,996
J	a										-0,502
	b										0,029

Nota: A. Casco, B. Curso de agua, C. Discontinuo, D. Ensanche, E. Huerta de Valencia, F. Industrial, G. Infraestructura de suministro, H. Red viaria o ferroviaria, I. Servicio dotacional, J. Suelo desnudo y K. Zona verde urbana.

De los resultados de la prueba a posterior "Post Hoc Test" de la noche del 23 de noviembre del 2018 (Cuadro 21) se puede concluir:

- El **Casco** no registra diferencia significativa con las medias de temperatura de las categorías de Zona verde urbana, Ensanche e Infraestructura de suministro. En la noche el Casco tiene una temperatura mayor que las demás categorías con las que registra una diferencia significativa en las medias, resaltando que es: 1,5°C más que la Huerta de Valencia, 1,0°C más que la Curso de agua, 0,8°C con la Red viaria o ferroviaria, 0,9°C más que Discontinuo y 1,2°C más que Industrial.



- El **Ensanche** tiene una diferencia significativa con las categorías de cubiertas de suelo, excepto con la Infraestructura de suministro, Casco y Zona verde urbana. La diferencia varía en el intervalo de 1,5°C más que la Huerta de Valencia a 0,3°C más que el Servicio dotacional. Además, tiene una Temperatura Superficial de 0,8°C más que la Red viaria o ferroviaria y de 1,1°C más que la cubierta Industrial.
- La **Zona verde urbana** tiene una diferencia significativa con las otras categorías de cubiertas del suelo, excepto con Casco, Ensanche e Infraestructura de suministro. Es más bajo que la media de temperatura del Suelo desnudo (-1,1°C), Discontinuo (-1,0°C), Huerta de Valencia (-1,5°C), Industrial (-1,2°C), Red viaria o ferroviaria (-0,9°C), Suelo desnudo (-1,1°C) y Curso de agua (-1,1°C).
- La **Huerta de Valencia** tiene una diferencia significativa con todos excepto al Curso de agua. La Huerta de Valencia tiene una temperatura más baja que las clasificaciones de cubiertas de suelo entre -0,3 y -2,1°C: Ensanche (-1,4°C), Infraestructura de suministro (-2,1°C), Casco (-1,4°C), Servicio dotacional (-1,1°C), Zona verde urbana (-1,5°C), Industrial (-0,3°C), Red viaria o ferroviaria (-0,7°C) y Discontinuo (-0,5°C).

Cuadro 21. Resultados de la prueba posterior "Post Hoc Test" para la noche del 07 de mayo del 2021 (a, Diferencia de las medias, b, p-valor)

		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	a	1,010	0,909	-0,025	1,456	1,163	-0,641	0,770	0,321	0,9784	-0,087
	b	< ,001	< ,001	1,000	< ,001	< ,001	0,314	< ,001	< ,001	< ,001	0,868
B	a		-0,097	-1,031	0,45	0,157	-1,647	-0,236	-0,685	-0,028	-1,093
	b		1	< ,001	0,595	1	< ,001	0,993	0,066	1	< ,001
C	a			-0,934	0,547	0,255	-1,55	-0,138	-0,588	0,0697	-0,996
	b			< ,001	< ,001	0,057	< ,001	0,836	< ,001	0,999	< ,001
D	a				1,481	1,188	-0,616	0,796	0,346	1,0036	-0,062
	b				< ,001	< ,001	0,357	< ,001	< ,001	< ,001	0,911
E	a					-0,293	-2,097	-0,686	-1,135	-0,478	-1,543
	b					< ,001	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001
F	a						-1,804	-0,393	-0,842	-0,185	-1,251
	b						< ,001	< ,001	< ,001	0,258	< ,001
G	a							1,411	0,962	1,6194	0,5536
	b							< ,001	0,018	< ,001	0,524
H	a								-0,449	0,208	-0,858
	b								< ,001	0,514	< ,001
I	a									0,6573	-0,408
	b									< ,001	< ,001
J	a										-1,066
	b										< ,001

Nota: A. Casco, B. Curso de agua, C. Discontinuo, D. Ensanche, E. Huerta de Valencia, F. Industrial, G. Infraestructura de suministro, H. Red viaria o ferroviaria, I. Servicio dotacional, J. Suelo desnudo y K. Zona verde urbana.

De los resultados de la prueba a posterior "Post Hoc Test" de la noche del 07 de mayo del 2021 (Cuadro 22) se puede concluir:

- El **Casco** registra diferencias significativas con las medias de temperatura de todas las categorías, excepto de Infraestructura de suministro. En la noche el Casco tiene una temperatura de 2,1°C más que la Huerta de Valencia, 0,3°C más que la Zona verde urbana, 2,5°C con el Curso de agua, 0,7°C con la Red viaria o ferroviaria, mientras que 0,2°C más baja que el Ensanche.



- El **Ensanche** tiene una diferencia significativa con las categorías de cubiertas de suelo, excepto con la Infraestructura de suministro. La diferencia varia en el intervalo de 2,4°C más que la Huerta de Valencia a 0,4 que el Servicio dotacional. Además, tiene una Temperatura Superficial menos 0,2°C que el Ensanche y 0,5°C más que la Zona verde urbana.
- La **Zona verde urbana** tiene una diferencia significativa con las otras categorías de cubiertas del suelo, excepto con Servicio dotacional y Suelo desnudo. Es más bajo que la media de temperatura del Casco (-0,3°C), Ensanche (-0,5°C) e Infraestructura de suministro (-0,4°C). y más alta que Curso de agua (2,3°C), Discontinuo (0,4°C), Huerta de Valencia (1,9°C), Industrial (0,3°C) y Red viaria o ferroviaria (0,4°C)
- La **Huerta de Valencia** tiene una diferencia significativa con todos excepto al Curso de agua. La Huerta de Valencia tiene una temperatura más baja que las clasificaciones de coberturas de suelo entre -1,5 y -2,4°C: Ensanche (-2,4°C), Infraestructura de suministro (-2,3°C), Casco (-2,1°C), Servicio dotacional (-2,0°C), Zona verde urbana (-1,9°C), Industrial (-1,6°C), Red viaria o ferroviaria (-1,5°C) y Discontinuo (-1,5°C).

Cuadro 22. Resultados de la prueba posterior "Post Hoc Test" para la noche del 07 de mayo del 2021 (a, Diferencia de las medias, b, p-valor)

		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	a	2,53	0,67	-0,211	2,162	0,552	-0,155	0,670	0,141	0,5911	0,257
	b	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001	0,937	< ,001	0,005	< ,001	< ,001
B	a		-1,855	-2,736	-0,363	-1,973	-2,681	-1,855	-2,384	-1,934	-2,268
	b		< ,001	< ,001	0,998	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001
C	a			-0,881	1,492	-0,117	-0,825	0	-0,529	-0,079	-0,412
	b			< ,001	< ,001	0,976	< ,001	1	< ,001	1	< ,001
D	a				2,373	0,763	0,0556	0,881	0,352	0,802	0,468
	b				< ,001	< ,001	1,000	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001
E	a					-1,61	-2,317	-1,492	-2,021	-1,571	-1,905
	b					< ,001	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001	< ,001
F	a						-0,708	0,118	-0,412	0,0389	-0,295
	b						< ,001	0,984	< ,001	1	< ,001
G	a							0,825	0,296	0,7464	0,413
	b							< ,001	0,256	< ,001	0,031
H	a								-0,529	-0,079	-0,413
	b								< ,001	1	0,001
I	a									0,4504	0,117
	b									0,01	0,462
J	a										-0,334
	b										0,191

Nota: A. Casco, B. Curso de agua, C. Discontinuo, D. Ensanche, E. Huerta de Valencia, F. Industrial, G. Infraestructura de suministro, H. Red viaria o ferroviaria, I. Servicio dotacional, J. Suelo desnudo y K. Zona verde urbana.

Como conclusión de los tres casos se puede concluir:

- Se considera que la imagen del 07 de mayo del 2021 de la noche presenta los mejores resultados para analizar la diferencia significativa en sus medias, ya que es la que tiene menos errores relacionados con el cálculo de la emisividad ya que esta fue calculada con la emisividad del mismo día.
- El **Casco** registra una diferencia significativa siempre con la Huerta de Valencia, Red viaria o ferroviaria, Discontinuo e Industrial. En la noche el Casco tiene una temperatura



mayor de 1,9°C en promedio con la Huerta de Valencia y de 0,7°C con la Red viaria o ferroviaria.

- El **Ensanche** no registra diferencia significativa con la media de temperatura de la categoría de Infraestructura de suministro en todos los casos analizados y con el Casco solo en las fechas de 16/03/2017 y 23/11/2018. En la noche el Ensanche tiene una temperatura mayor de 2,1°C en promedio con la Huerta de Valencia y de 0,8°C con la Red viaria o ferroviaria.
- La **Zona verde urbana** no registra diferencia significativa con la media de temperatura de las categorías siguiente en alguna de la imagen estudiada: Servicio dotacional, Curso de agua, Ensanche, Infraestructura de suministro y Suelo desnudo. Esto se puede deber a la variación de la vegetación durante el año y por ende cambia su emisividad, ocasionado que cuando haya menos follaje el comportamiento sea más parecido con la Infraestructura de suministro, Ensanche, Casco o Servicio dotacional y en el caso en donde se encuentra sin hojas en sus árboles se comparte parecido con la cobertura de suelo con Suelo desnudo. En la noche la Zona verde tiene una temperatura menor a 1,8°C en promedio con la Huerta de Valencia y de 0,6°C con la Red viaria o ferroviaria.
- La **Huerta de Valencia** tiene una diferencia significativa con todos excepto al Curso de agua en las fechas del 23/11/2018 y 07/05/2021. La Huerta de Valencia tiene una temperatura más baja que las clasificaciones de coberturas de suelo entre -1,0 y -2,4°C: Ensanche (-2,1°C), Infraestructura de suministro (-2,4°C), Casco (-1,9°C), Servicio dotacional (-1,7°C), Zona verde urbana (-1,8°C), Industrial (-1,0°C), Red viaria o ferroviaria (-1,2°C) y Discontinuo (-1,0°C), en promedio en general es -1,7°C.
- Los resultados de la imagen del 23 de noviembre del 2018, en relación con la diferencia significativa de la Zona verde urbana con el Ensanche y el Casco son contrarios a lo encontrado en las otras imágenes analizadas, estas diferencias se pueden deber a que la emisividad utilizada para aproximar la Temperatura Superficial corresponde a la imagen del día 19 de agosto del 2018 en donde se tiene una diferencia de tres meses y diferencias en la estación la de la noche es del otoño y la segunda del verano. Además, se recuerda que los puntos calientes de esta imagen en particular se concentraban al



noreste de la ciudad por la dirección del viento. Así que los resultados están condicionados a las condiciones meteorológicas.

4.3 Perfiles de temperatura

En las siguientes figuras (Figura 24, Figura 25 y Figura 26) se presenta la altura de las edificaciones, la Temperatura Superficial (TS) e hitos de la configuración de la ciudad para tres perfiles de la ciudad de la noche del 07/05/2021, ya que como se mencionó anteriormente presenta los mejores resultados al haber calculado el Índice I de Moran, el ANOVA y el "Post Hoc Test", además la dirección de los vientos no generar ruido en los resultados.

Los perfiles permiten identificar la complejidad y la variación de la Temperatura Superficial (TS) con respecto a las diferentes cubiertas de suelo. Es así como se puede demarcar la dificultad de generar una ecuación lineal de Temperatura Superficial y cercanía al centro de la ciudad ya que las diferentes morfologías de la ciudad en especial la presencia de Zonas verdes urbanas o de la Huerta de Valencia ocasiona que haya una disipación en la Temperatura Superficial (TS), así como otras características provocan un aumento.

La ciudad es muy heterogénea siendo muy difícil obtener la curva teoría, la cual se representa por medio de la campana de Gauss, en donde el punto alto se encuentra en el centro urbano y denso y disminuye conforme se aleja de la zona urbanizada como se muestra en la Figura 6.

Aun así, en estos tres perfiles se puede ver claramente y de manera general el efecto de los diferentes usos del suelo y en especial el efecto enfriador de la Huerta de Valencia, el Parque del Río Turia y de las Zonas verdes urbanas. Además, se destaca la relevancia de pasar de una curva teórica a obtener la curva de la ciudad con respecto a la Temperatura Superficial, y así dimensionar la complejidad de la malla urbana.

También se destaca la importancia de haber conseguido la curva de Temperatura Superficial con respecto a su ubicación geográfica, y poder observar como depende de las propiedades morfológicas de la ciudad, las cuales se estudiarán más adelante.



En la Figura 24 se presenta el Perfil 1, en donde se pueden apreciar que la Temperatura Superficial no responde a un modelo concéntrico localizado en el centro de la ciudad, sino que varía en función de las diferentes cubiertas de suelo y factores morfológicos, como el que es estudiado en este caso, la elevación.

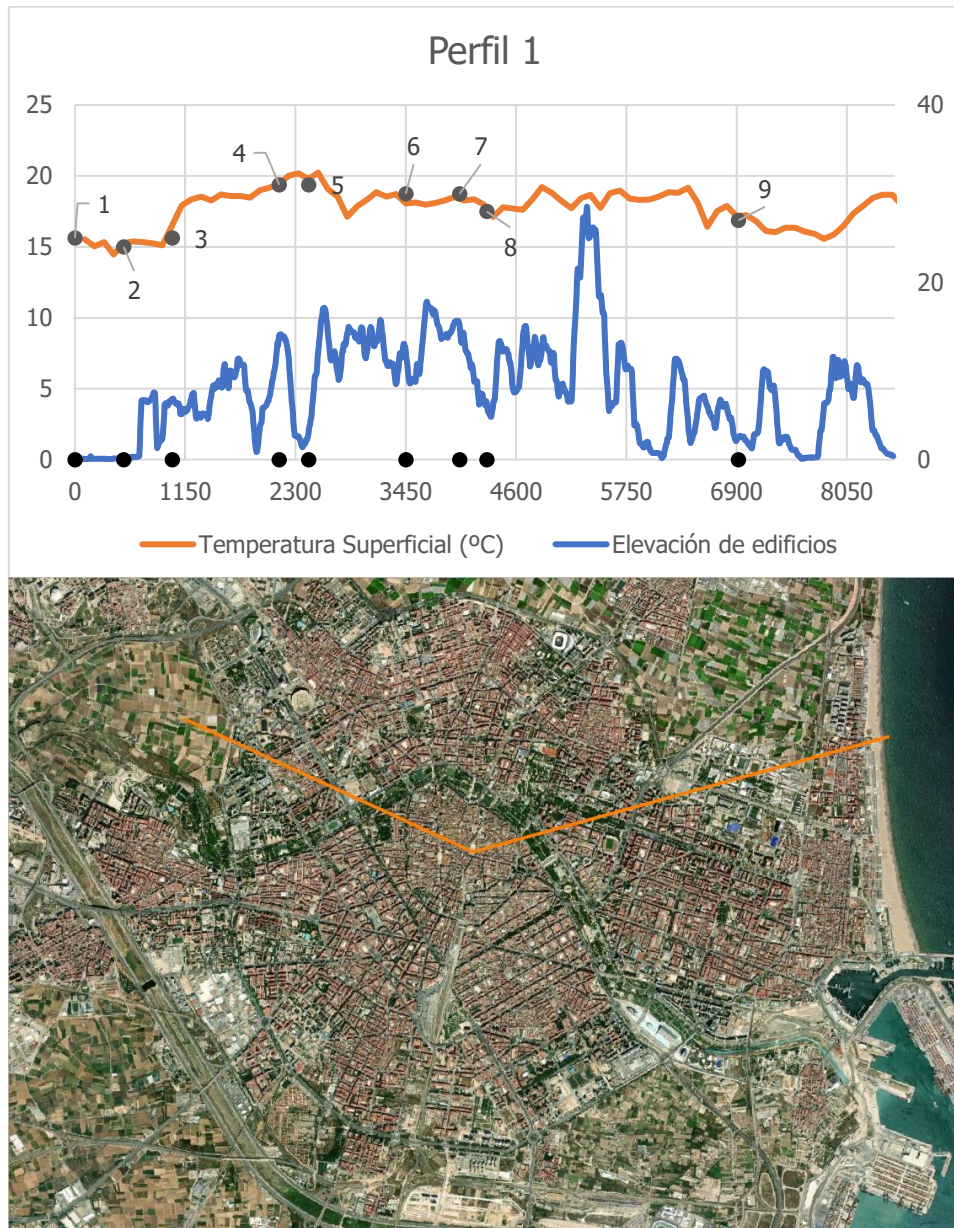


Figura 24. Perfil 1. Puntos de izquierda a derecha: 1 – Huerta de Valencia; 2 – Fin de Huerta de Valencia; 3 – Vías; 4 – Inicio Parque Río Turia; 5 – Fin de Parque Río Turia; 6 – Plaza de la Reina; 7 – Inicio Parque Río Turia; 8 – Fin de Parque Río Turia y 9 – Huerta de Valencia

En la Figura 25 se presenta el Perfil 2, en este perfil se destaca el efecto enfriador de los parques. Se puede observar una clara disminución en la Temperatura Superficial en el Parque del Río Turia como en el Parque Central el cual esta continuo a la playa de vías de la Estación

Joaquín Sorolla. También se puede apreciar el aumento de la Temperatura Superficial en la cobertura de Suelo al descubierto. Por último, se destaca la uniformidad en el tejido urbano residencial.

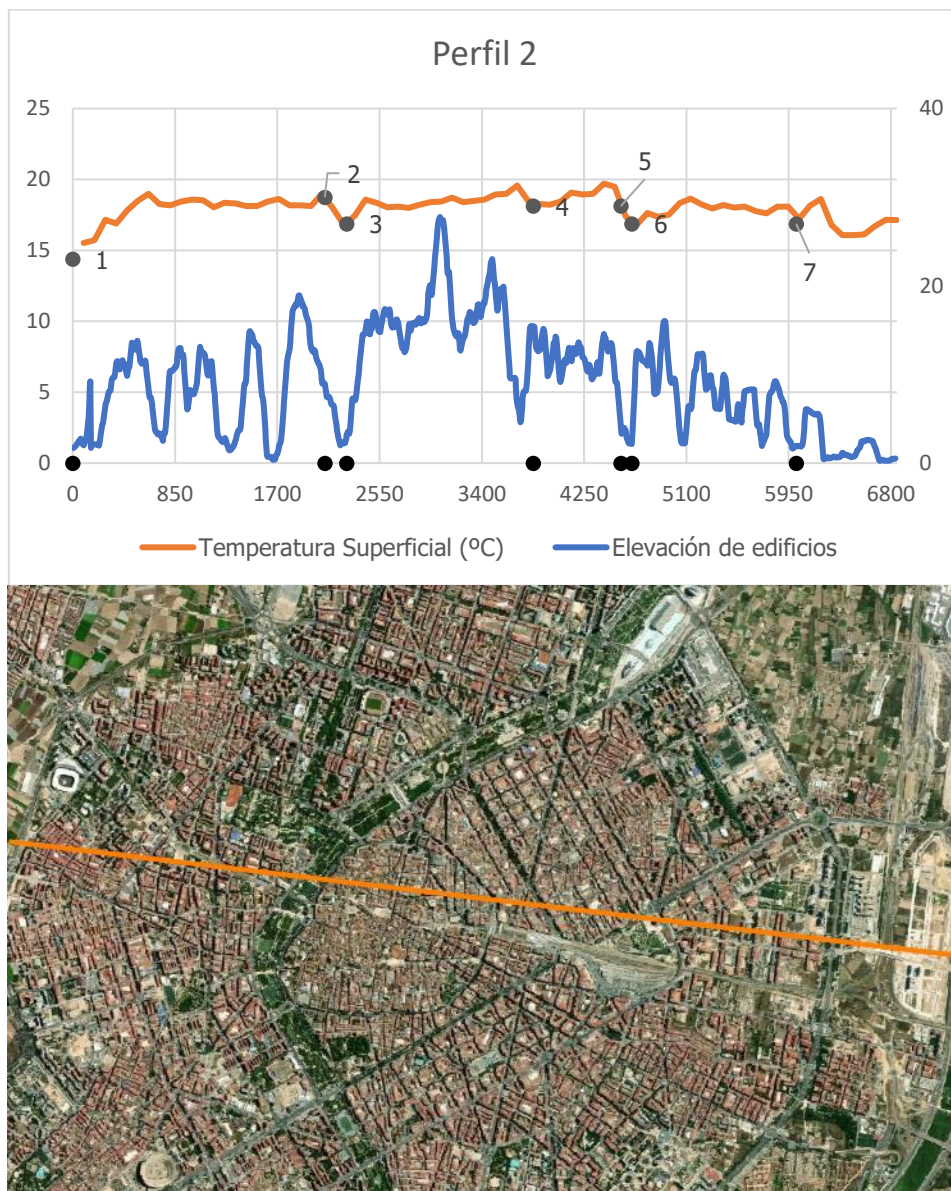


Figura 25. Perfil 2. Puntos de izquierda a derecha: 1 – Huerta de Valencia; 2 – Inicio Parque Río Turia; 3 – Fin de Parque Río Turia; 4 – Ensanche; 5 – Parque; 6 – Fin de Parque y 7 – Suelo al descubierto



En la Figura 26 se presenta el Perfil 3, este inicia en la Huerta de Valencia y vuelve a pasar por la Huerta de Valencia antes de terminar el Puerto de Valencia. En este perfil se destaca la ayuda que es la Huerta de Valencia para disminuir la Temperatura Superficial. Además, presenta un caso interesante de estudiar se puede observar como el Puerto de Valencia tiene menos elevación, pero aun así tiene mayor Temperatura Superficial que otras edificaciones con mayor altura, lo cual permite entender que la Temperatura Superficial no solo depende de las propiedades morfológicas, sino que depende del tipo de material y las propiedades meteorológicas.

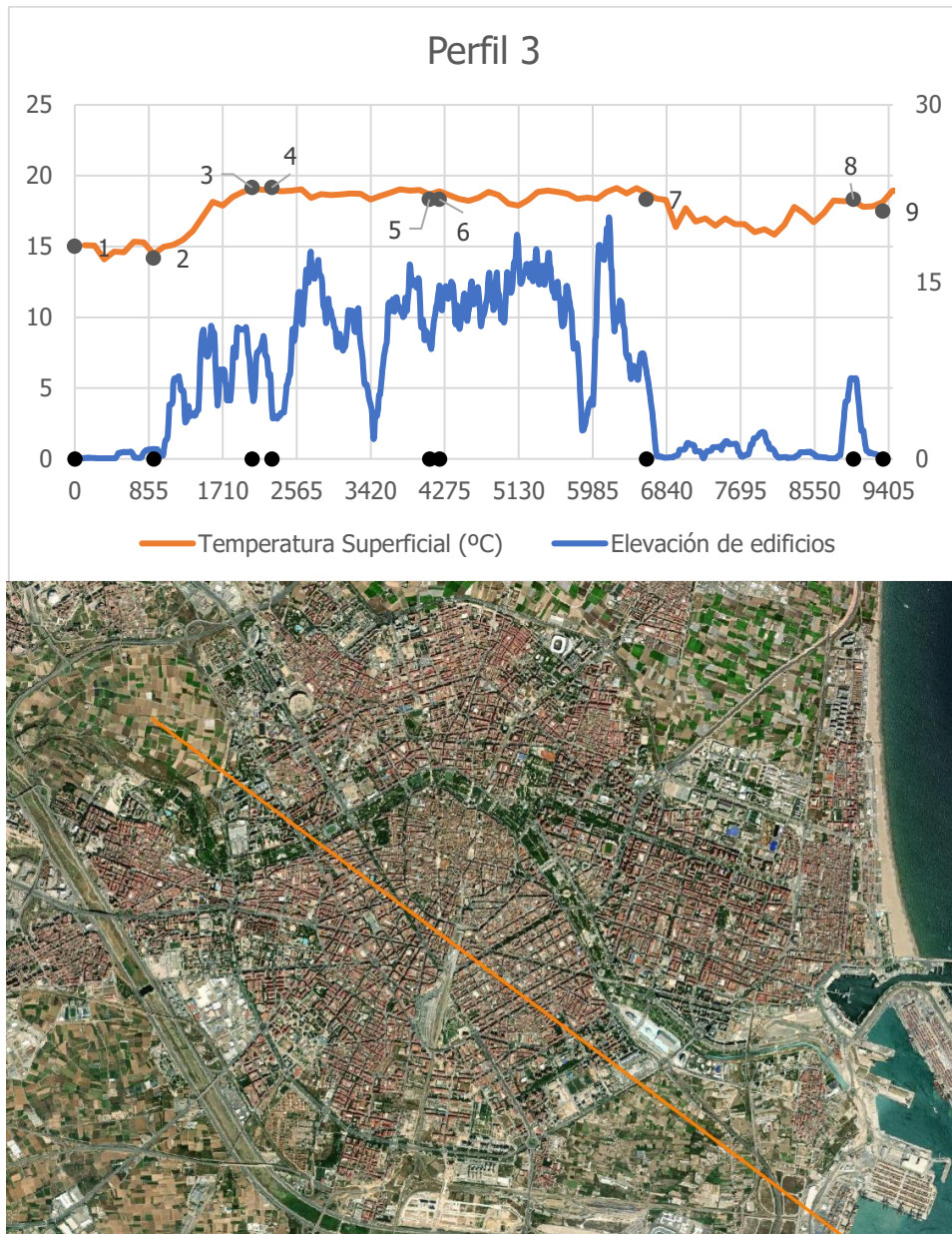


Figura 26. Perfil 3. Puntos de izquierda a derecha: 1 – Huerta de Valencia; 2 – Fin de Huerta de Valencia; 3 – Inicio Parque Río Turia; 4 – Fin de Parque Río Turia; 5 – Estación Joaquín Sorolla; 6 – Fin Estación Joaquín Sorolla; 7 – Huerta de Valencia; 8 – Puerto de Valencia y 9 – Fin Puerto de Valencia



4.4 Influencia de la morfología urbana en la temperatura

Partiendo de lo encontrado en los perfiles estudiados y viendo como la morfología de la ciudad es una de las variables que afecta la Temperatura Superficial, se seleccionaron las siguientes variables características de la morfología urbana para estudiar más en detalle su influencia sobre la temperatura: Suelo libre, Techo construido, Elevación, Número de plantas, Distancia a zona verde y Zona verde por edificación.

Cada una de las variables urbanas fueron evaluadas por separada para comprobar si representaban correctamente la realidad de manera individual. Para cada una de ellas, se hizo una regresión lineal con respecto a la Temperatura Superficial en donde se revisó el signo estimador y el valor de p, para comprobar que hubiera una relación lineal entre la Temperatura Superficial y la variable morfológica estudiada, en el sentido esperado. Los resultados de las diferentes pruebas se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 23. Análisis individual de las variables y la Temperatura Superficial para los tres casos estudiados

Variables	TS 2017				TS 2018				TS 2021			
	R	R ²	Estimador	p	R	R ²	Estimador	p	R	R ²	Estimador	p
Suelo libre	0,326	0,107	-0,00017	< 0,001	0,253	0,064	-0,00011	< 0,001	0,263	0,069	-0,00012	< 0,001
Techo construido	0,424	0,180	0,00004	< 0,001	0,405	0,164	0,00003	< 0,001	0,360	0,129	0,00003	< 0,001
Elevación	0,456	0,208	0,09040	< 0,001	0,437	0,191	0,07000	< 0,001	0,372	0,138	0,06300	< 0,001
Número de plantas	0,090	0,008	0,00685	< 0,001	0,099	0,010	0,00610	< 0,001	0,082	0,007	0,00531	< 0,001
Distancia a zona verde	0,351	0,123	0,00173	< 0,001	0,316	0,100	0,00126	< 0,001	0,322	0,103	0,00136	< 0,001
Zona verde por edificación	0,071	0,005	-0,00604	< 0,001	0,055	0,003	-0,00377	< 0,001	0,066	0,004	-0,00479	< 0,001

Se destaca del cuadro anterior que el mejor R para todas las variables se obtiene para la imagen del 16 de marzo del 2017. En esta imagen la diferencia entre la imagen nocturna y diurna es de tan solo nueve días, ayudando a tener una buena aproximación de la emisividad.

También se puede observar, que las características morfológicas que mejor explican la Temperatura Superficial individualmente son: Elevación, Techo construido, Distancia a zona verde y Suelo libre, respectivamente.

Luego para evitar variables repetidas se realiza una matriz de correlación para descartar las variables auto correlacionadas y así definir cuáles variables se tomarán en cuenta en la regresión lineal.

Cuadro 24. Matriz de Correlaciones

		Suelo libre	Techo construido	Elevación	Número de plantas	Distancia a zona verde	Zona verde por edificación
Suelo libre	a	-	-	-	-	-	-
	b	-	-	-	-	-	-
Techo construido	a	-0,794	-	-	-	-	-
	b	< 0,001	-	-	-	-	-
Elevación	a	-0,800	0,926	-	-	-	-
	b	< 0,001	< 0,001	-	-	-	-
Número de plantas	a	-0,045	0,492	0,400	-	-	-
	b	0,001	< 0,001	< 0,001	-	-	-
Distancia a zona verde	a	-0,505	0,478	0,509	0,124	-	-
	b	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	-	-
Zona verde por edificación	a	0,075	-0,066	-0,063	-0,058	-0,045	-
	b	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	-

Nota: a. R de Pearson y b. valor de p

Las variables claramente independientes entre sí, con valores de correlación bajos son: Número de plantas, Distancia a zona verde y Zona verde por edificación. De las tres variables restantes se destacan el uso de las variables Techo construido y Elevación al tener un R de Pearson bastante elevado cercano a uno y se conserva Suelo libre.

Una vez seleccionadas las variables, se realizó las pruebas de normalidad de Skewness (Asimetría) y Kurtosis, para comprobar su normalidad y aplicar una transformación logarítmica con el objetivo de normalizar los datos (Cuadro 25).



Cuadro 25. Prueba de normalidad de Skewness (Asimetría) y Kurtosis

Variable	Asimetría	Kurtosis
Suelo libre	-0,33	-1,00
Logaritmo natural de Suelo libre	-2,49	26,60
Número de plantas	55,50	3566,00
Logaritmo natural de Número de plantas	-0,84	3,93
Distancia a zona verde	1,20	1,12
Logaritmo natural de Distancia a zona verde	0,11	-1,13
Zona verde por edificación	34,60	1387,00
Logaritmo natural de Zona verde por edificación	0,96	1,21

En la siguiente Figura 27 se presenta el histograma de las variables seleccionadas sin y con transformación logarítmica.

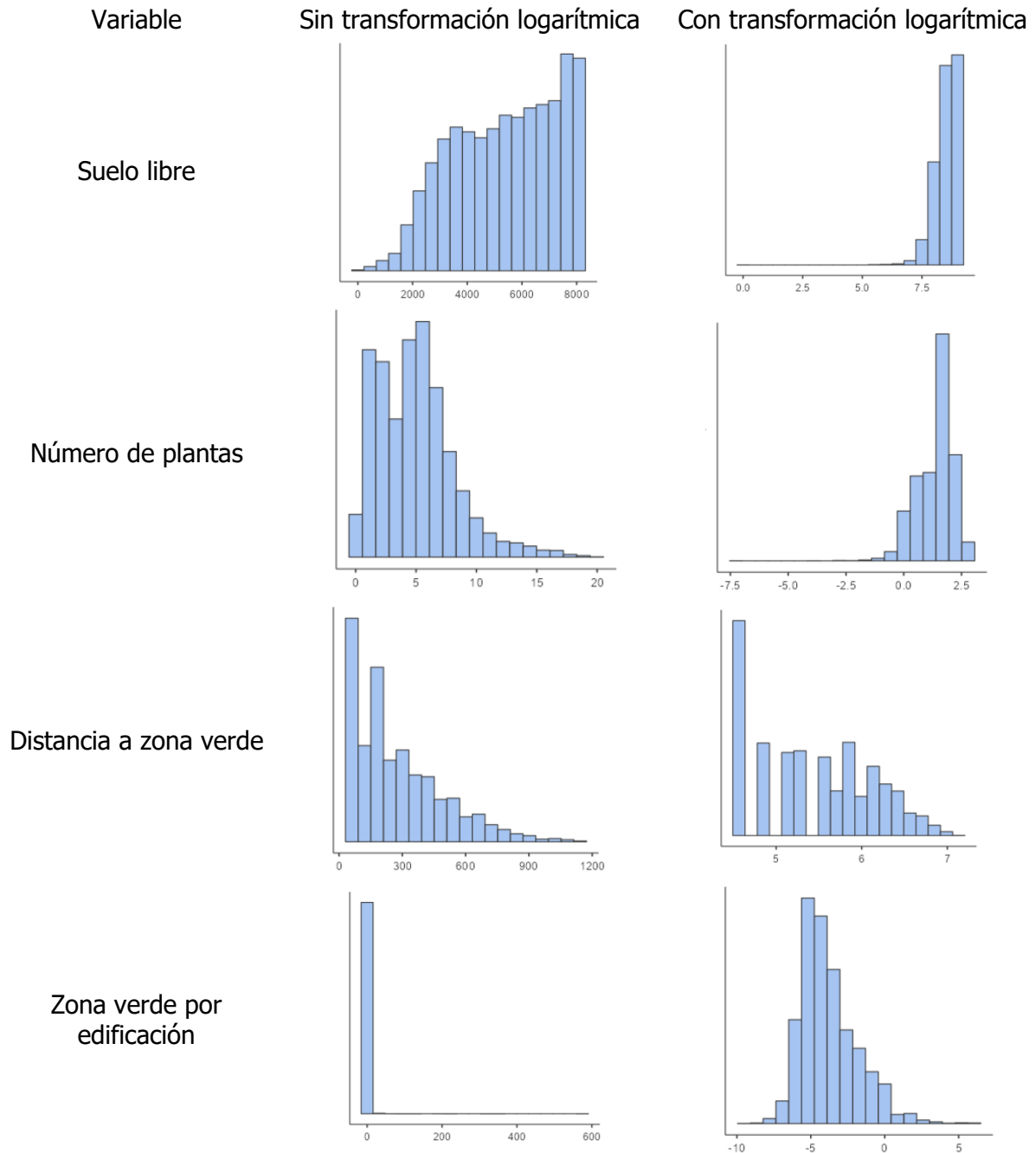


Figura 27. Histograma de las variables seleccionadas sin y con su transformación logarítmica

Se evalúan la regresión lineal de los tres casos de Temperatura Superficial con las variables normalizadas con la transformación logarítmica, estos son los resultados que se obtienen:



Cuadro 26. Regresión lineal de los tres casos de Temperatura Superficial con las variables normalizadas

Variables	TS 2017				TS 2018				TS 2021			
	R	R ²	Estimador	p	R	R ²	Estimador	p	R	R ²	Estimador	p
In(Zona verde por edificación)	0,540	0,292	-0,032	0,003	0,530	0,281	0,011	0,211	0,487	0,238	-0,029	0,003
In(Número de plantas)			0,449	< 0,001			0,451	< 0,001			0,329	< 0,001
In(Distancia a zona verde)			0,349	< 0,001			0,249	< 0,001			0,333	< 0,001
In(Suelo libre)			-0,108	0,007			-0,073	0,024			0,059	0,094

Una vez identificadas las variables y definidas sus funciones de transformación, se implantó el modelo de regresión lineal con la temperatura como variable dependiente y las variables independientes siguientes: In(Zona verde por edificación), In(Número de plantas), In(Distancia a zona verde) y In(Suelo libre).

Los resultados de la regresión son mejores en el caso de la imagen del 2017, siendo que se obtiene el R más alto y que las cuatro variables resultan como significativas y con un valor para el estimar en el sentido esperado. El modelo encontrado en el cual las variables se mantienen con el comportamiento en el signo encontrado al estudiarlas individualmente y cuentan con un valor de p menor a 0,05 es el que correspondiente con la imagen del 16 de marzo del 2017, este se detalla a continuación, con:

Cuadro 27. Coeficientes del modelo de la Temperatura Superficial del 16 de marzo del 2017

Variables	Estimador	Error	Valor de p
Constante	8,2508	0,3925	< 0,001
In(Zona verde por edificación)	-0,0323	0,0109	0,003
In(Número de plantas)	0,4485	0,0192	< 0,001
In(Distancia a zona verde)	0,3486	0,0203	< 0,001
In(Suelo libre)	-0,1075	0,0397	0,007



Con un R de 0,540 y un R^2 de 0,292, se puede decir que la Temperatura Superficial del 16 de marzo del 2017 es explicada en un 29,2% por las variables morfológicas seleccionadas en la siguiente ecuación:

$$TS = 8,2508 - 0,0323 \ln A + 0,4485 \ln B + 0,3486 \ln C - 0,1075 \ln D$$

En donde:

- A: Zona verde por edificación,
- B: Número de plantas,
- C: Distancia a zona verde,
- D: Suelo libre.

El modelo nos permite identificar que la Temperatura Superficial es directamente proporcional al Número de plantas, la cual es una variable morfológica que está relacionado con la densidad de la edificación. En cuanto al Suelo libre se lograr probar que con un aumento del espacio libre se tiene una disminución en la Temperatura Superficial. La variable Zona verde por edificación permiten comprobar que al haber un aumento de la Zona verde por edificación se logra disminuir la Temperatura Superficial. Por último, conforme a lo esperado tenemos la Distancia a zona verde ya que conforme mayor sea la distancia a la zona verde la Temperatura Superficial aumenta. Además, se encontró que por cada píxel de 90 m que se aleja de una zona verde la Temperatura Superficial aumenta 2,50%, así que se tiene una relación lineal entre la diferencia de Temperatura Superficial y la Distancia a zona verde con una pendiente de 2,5.

Se estudió un poco más a profundidad la relación del Número de plantas con la diferencia de la Temperatura Superficial, así que se trabajó con el modelo dejando constante la Zona verde por edificación (0,67 píxel/m²t), la Distancia a zona verde (90 m) y el Suelo libre (4050 m²s) y se varió el número de plantas de 1 a 20 m²t/m²s, obteniendo que hay una relación exponencial como se muestra en la Figura 28.

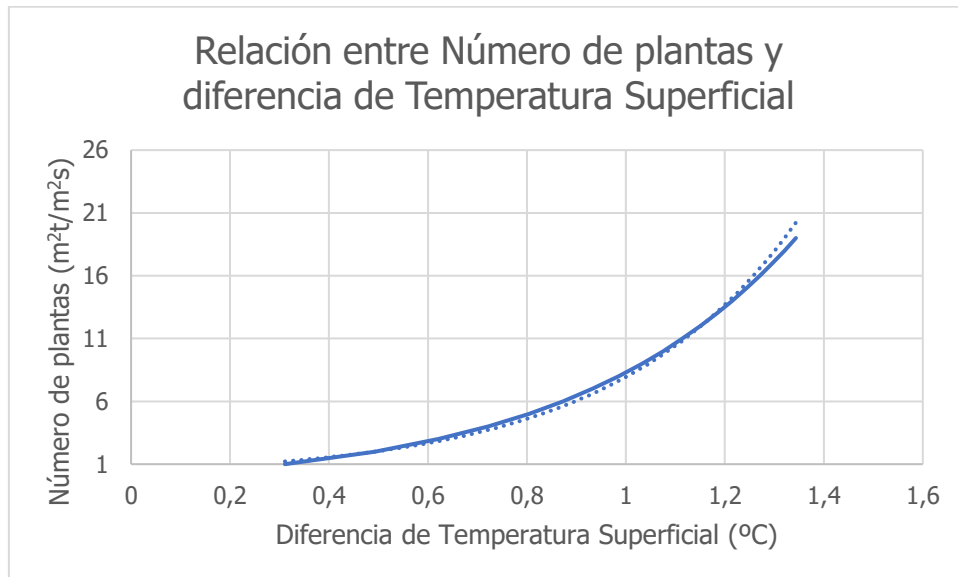


Figura 28. Relación entre el Número de plantas y la diferencia de la Temperatura Superficial

A pesar de que el modelo planteado no explica toda la variabilidad de temperatura y por lo tanto seguramente sean necesarias una mayor cantidad de variables para explicar el fenómeno de la isla de calor, sí que se han podido identificar características morfológicas que explican parte del fenómeno. Aun así, para explicar un mayor porcentaje de la temperatura habría que incorporar otras como climáticas y propias de cada superficie.

En cualquier caso, se considera que estos resultados han permitido identificar características urbanas con las que se puede trabajar en el diseño futuro de la ciudad e incorporar estos en futuros planes de desarrollo urbano. Contribuyen atenuar la isla de calor y por lo tanto bajar la temperatura, el aumento de la cantidad de espacio libre, una mayor proporción de zona verde (árboles) por metro cuadrado edificado, una menor densidad edificatoria y la proximidad a espacios verdes de cierto tamaño. Lo verde y los espacios libres actúan claramente con un efecto disipador del calor mientras que la edificación tiene tendencia a aumentar la Temperatura.



Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El trabajo demuestra que a partir del uso de las imágenes satelitales del sensor ASTER se puede obtener Mapas de Calor Urbano de precisión, reciente y con un periodo de retorno relativamente corto. Estas imágenes tienen una resolución de 90 m. Se cuenta con una gran base de imágenes satelitales las cuales permiten estudiar las Islas de Calor Urbanas en el tiempo, ya que tienen un periodo de retorno de 16 días. Además, presenta una cobertura especial con un amplio alcance geográfico, por lo que la metodología desarrollada es aplicable a más ciudades.

La metodología desarrollada permite monitorear la evolución de las Islas de Calor Urbana, así investigar acerca de la interacción entre la morfología urbana y la temperatura superficial.

Al representar la temperatura superficial calculada por medio de puntos y sobre un mapa base se puede identificar el efecto enfriador que tienen la Huerta de Valencia y el Parque del Antiguo Cauce del Río Turia. También por el contrario la temperatura que acumula y por lo tanto el efecto de calor que emite infraestructuras como el Puerto de Valencia.

Al comparar las imágenes de día y de noche, se puede determinar que las imágenes nocturnas tienen un comportamiento más homogéneo, permitiendo identificar mejor las Islas de Calor Urbana, aunque, igualmente, las imágenes de día son importantes insumos para determinar la emisividad.

Las imágenes diurnas presentan mayor heterogeneidad y variabilidad por las respuestas puntuales de los diferentes materiales al estar expuestos a los rayos del sol, haciendo más complicado su interpretación. Por ejemplo, determinadas cubiertas de edificios o la presencia de césped artificiales en pistas deportivas introducen durante el día comportamientos anormales que llegada la noche se disipan en el entorno más inmediato. Algo parecido pasa con la Huerta de Valencia, con comportamientos muy dispares según las parcelas sean cultivadas o no: son frías cuando se encuentran cultivadas, pero con gran capacidad de absorber calor y liberarlo por las noches cuando se encuentra como suelo al descubierto.



Mediante análisis estadísticos se logró determinar que la temperatura superficial no tiene un comportamiento aleatorio sino más bien tiene un comportamiento de agrupaciones de puntos calientes y fríos en la ciudad, que según se ha podido comprobar se encuentra correlacionado con las diferentes cubiertas de suelo, en cualquier caso, modificado por la dirección del viento cuando este es más importante.

Existe diferencias significativas de temperatura según el tipo de cubierta de suelo. Se comprobó que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las temperaturas superficiales de las diferentes cubiertas de suelo. El Casco tiene una temperatura mayor que las demás categorías, solo para el 07 de mayo del 2021 es 0,2°C más baja que el Ensanche. En general es 1,9°C más caliente que la Huerta de Valencia. Se encuentra que las zonas correspondientes al Ensanche es 2,1°C más caliente en promedio que la Huerta de Valencia.

La Zona verde urbana presenta un comportamiento variable en la ciudad, y además varía en el tiempo, por lo que se estudió a más profundidad. Resulta especialmente importante analizar el área de influencia de las zonas verdes y el diseño mismo de estas zonas verdes por si se debe hacer una combinación de tipos de árboles y otro tipo de vegetación para que no se encuentren como suelo desnudo en ningún momento del año.

Es importante resaltar el caso de la Huerta de Valencia la cual en promedio tiene una temperatura superficial 1,7°C más baja que las otras cubiertas de suelo.

Los perfiles de temperatura de la ciudad realizados permitieron demostrar el efecto de la ciudad logrando observar claramente la isla de calor producida. El análisis de estos perfiles conjuntamente con la elevación de los edificios revela la complejidad y la variación de la temperatura superficial con respecto a las diferentes cubiertas de suelo y factores morfológicos. Ni las islas de calor ni los perfiles obtenidos muestran un modelo concéntrico localizado en el centro de la ciudad, sino más bien una distribución mucho más compleja, debido a la gran heterogeneidad de uso, altura, composición, etc., que se da en la ciudad. La hipótesis de que la Isla de Calor Urbana responde a un modelo concéntrico localizado en el centro de la ciudad responde a un modelo teórico de ciudad como si fuera una ciudad homogénea en su estructura y composición, lo cual evidentemente no es así en la mayoría de las ciudades.



Entrado en el diseño urbano y las características morfológicas del tejido urbano se han podido identificar cuatro variables morfológicas con efectos significativos: la cantidad de vegetación por metro cuadrado edificado, el número de plantas de las edificaciones, la distancia a las zonas verdes urbanas y la proporción de espacio libre de edificación. Se han podido encontrar una relación lineal de la temperatura superficial con estas cuatro variables en donde el R es de 0,540 y el R^2 es de 0,292.

El número de plantas el cual se relaciona con la densidad de la edificación es una de las variables que contribuyen a aumentar la temperatura superficial, a un mayor número de plantas, mayor temperatura superficial como se muestra en la Figura 29 y como se presentó en los resultados se espera una diferencia exponencial en la temperatura superficial al aumentar el Número de plantas, como en la Figura 28.

También se destaca el comportamiento de la variable Distancia a zona verde la cual a mayor distancia de una zona verde se obtiene una mayor temperatura superficial (Figura 30), siendo así que se debe trabajar en buscar que se cuente con suficientes zonas verdes urbanas para que la distancia de cada punto a una de estas zonas sea lo más pequeña posible disminuyendo la temperatura superficial. Uno de los hallazgos del modelo planteado fue encontrara que por cada 90 m que se aleja de la Zona verde se aumenta en un 2,50% la temperatura superficial.

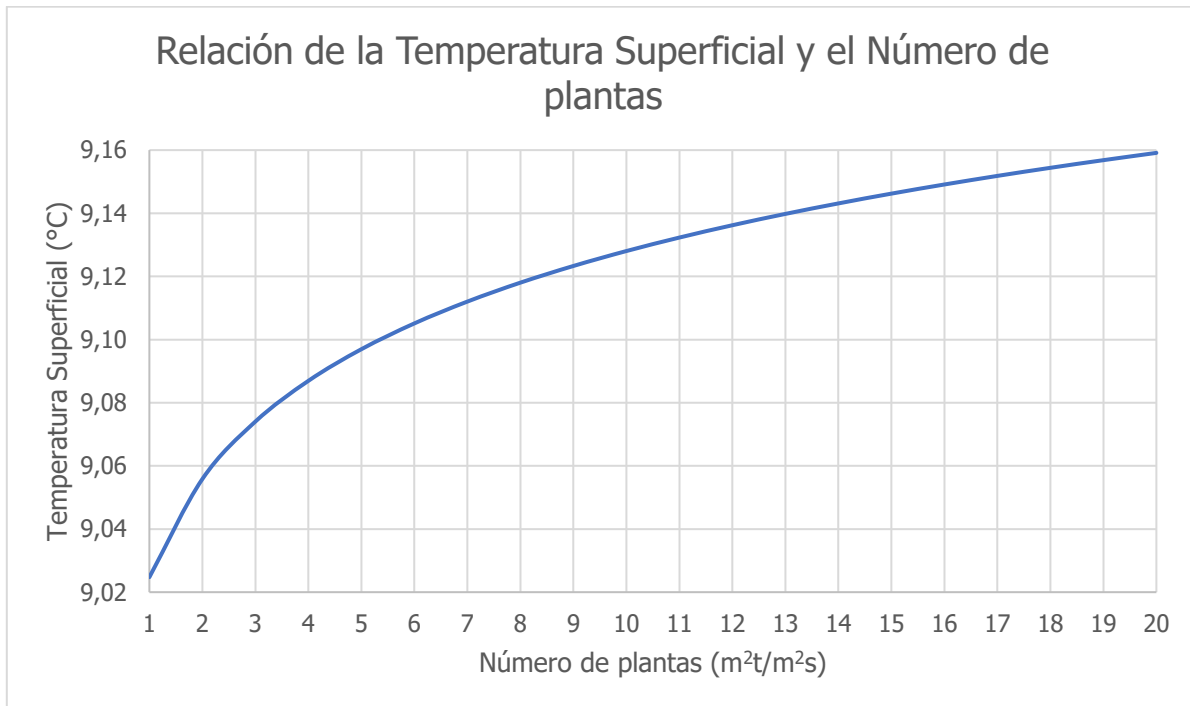


Figura 29. Relación de la Temperatura Superficial y el Número de plantas

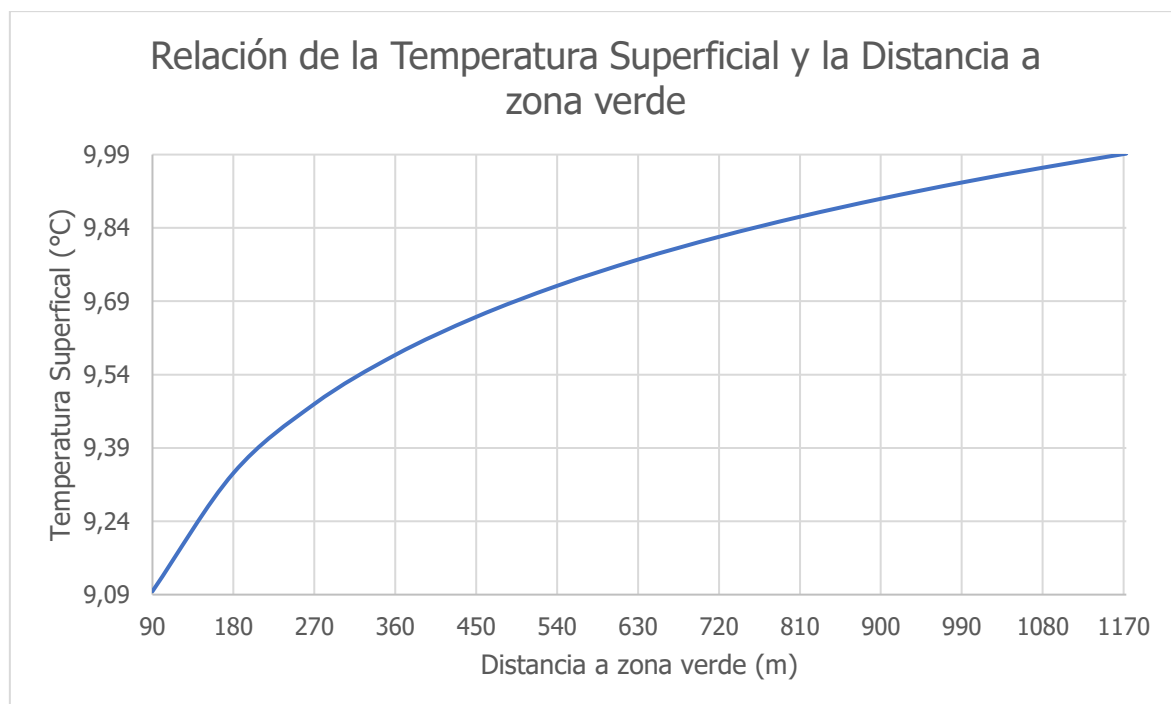


Figura 30. Relación de la Temperatura Superficial y la Distancia a zona verde

La cantidad de Suelo libre ayuda a disminuir la temperatura superficial (Figura 31), a mayor superficie libre menor temperatura superficial, al estudiar la relación de la diferencia de la temperatura superficial y el suelo libre se obtiene una función potencia con un R^2 igual a 0,9982.

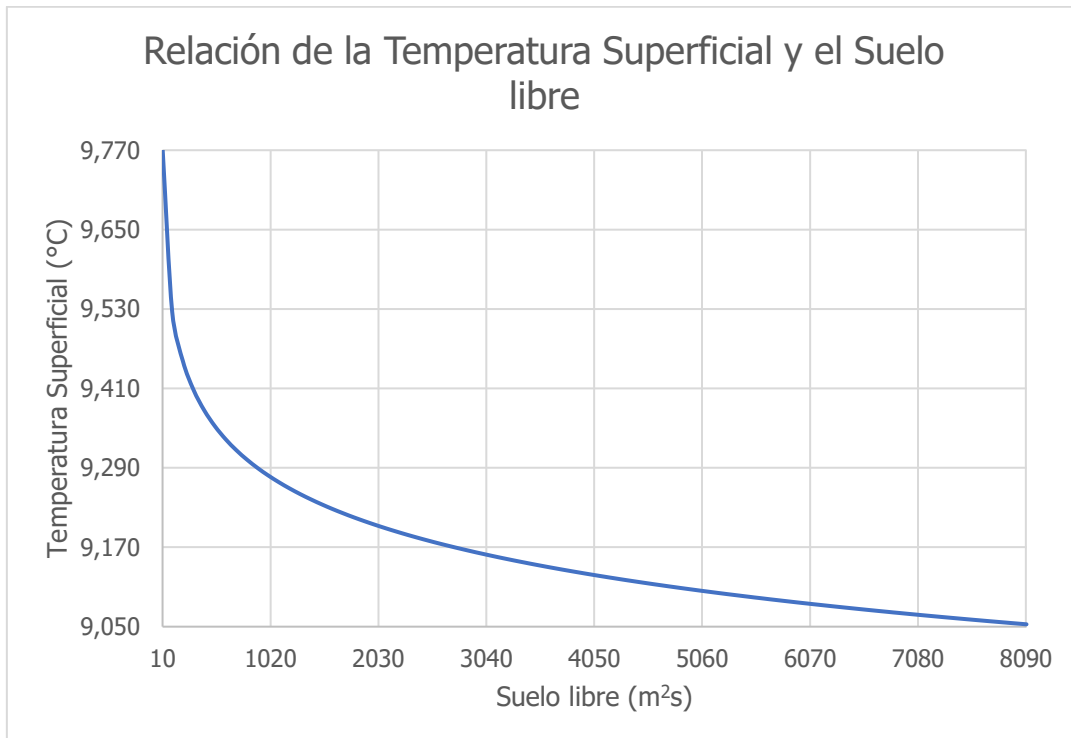


Figura 31. Relación de la Temperatura Superficial y el Suelo libre

Por último, si se obtiene una disminución de la temperatura superficial al aumentar la relación entre la cantidad de zona verde por edificación (Figura 32), pero esta disminución es mucho más pequeña se encuentra que se debe a que la zona verde tiene una resolución de 2,5m y en cambio todos los cálculos están relacionados a una malla de 90 x 90 m. Siendo necesario una mejor resolución para obtener mejores conclusiones del comportamiento de las zonas verdes por edificación.

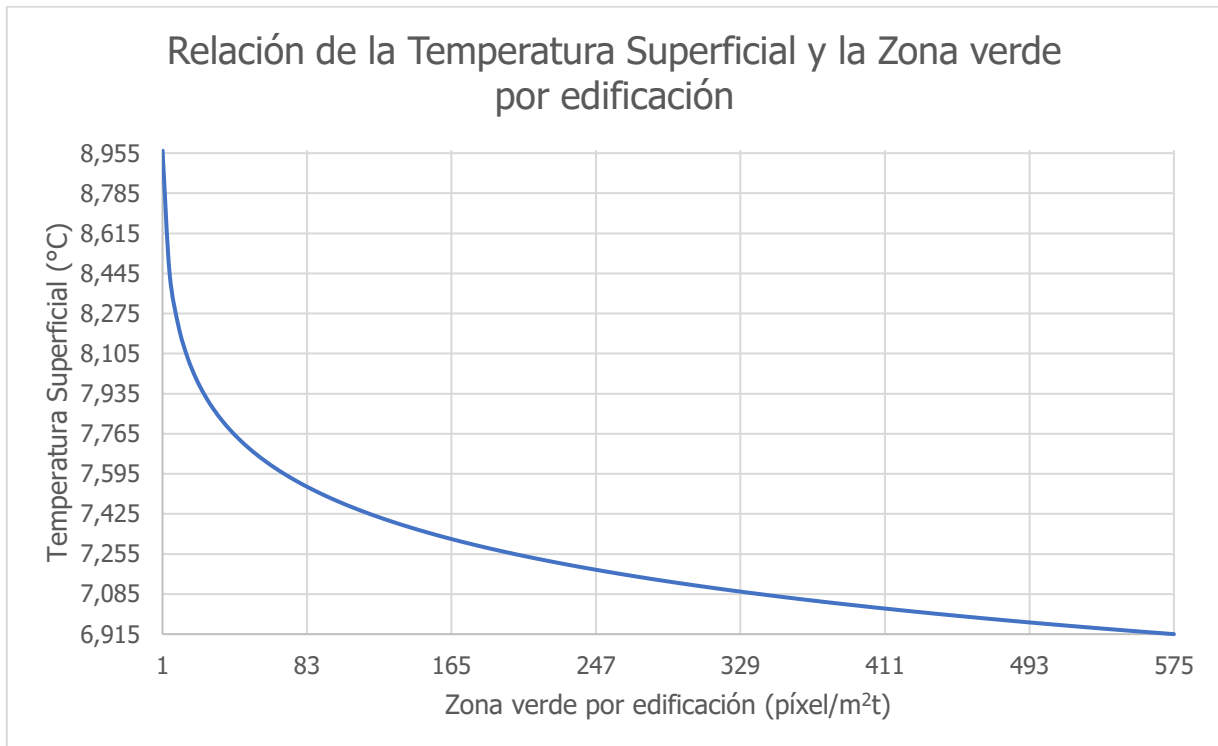


Figura 32. Relación de la Temperatura Superficial y la Zona verde por edificación

5.2 Recomendaciones

En esta investigación se logra conclusiones sobre la influencia de la morfología urbana sobre la temperatura superficial, sin embargo, hay que recordar la escala o resolución del dato de temperatura superficial, que se tiene según una cuadrícula de 90 por 90 metros, lo cual sigue siendo una escala muy grande para realizar sobre todo el análisis del efecto de la vegetación. El efecto de las zonas verdes se debería de estudiar a una escala más detallada, pero para eso se necesita datos de superficie más preciso que nos proporciona el satélite ASTER.

Cuando se quiera analizar las Islas de Calor Urbanas es importante trabajar con las imágenes nocturnas ya que al no verse afectados por la radiación solar presenta patrones más homogéneos.

A partir de la metodología desarrollada, y los hallazgos de este proyecto sería importante generar periódicamente Mapas del Calor Urbano de la ciudad para así continuar estudiando la



evolución, ubicación y amplitud de las Islas de Calor Urbanas, así identificar zonas en donde se debería realizar intervenciones urbanas, en especial por su modificación más fácil que las otras variables más estructurales, el aumento de zonas verde ya sea para disminuir la distancia de estas a las edificaciones o aumentar la zona verde aprovechando el espacio libre de la ciudad.

Esta investigación apunta a la vegetación como la principal herramienta de intervención, demostrando la importancia de las zonas verdes como enfriadores de la ciudad, por lo tanto, dentro de una estrategia de adaptación y mitigación del cambio climático, si se busca disminuir la temperatura se debería aumentar los estándares de zonas verdes o arbolados en la ciudad. En este sentido sería conveniente explorar el potencial que tiene la regla de 3-30-300, que plantea 3 árboles a la vista, 30% del barrio con cobertura verde y 300 metros a la zona verde urbana más cercana (Konijnendijk, 2022).

5.2.1 Limitaciones y futuras líneas de investigación

Como se plantea en las conclusiones y las recomendaciones las Zonas verdes urbanas son muy valiosas para disminuir la temperatura superficial así que su estudio cada vez va a ser más importante. Se considera necesario estudiar en futuras investigaciones el área de influencia de las Zonas verdes, es decir conocer mejor a cuál distancia ya no se perciben sus beneficios para disminuir la Temperatura Superficial. También cual es el efecto de la vegetación a una escala más pequeña que de 90 por 90 metros permitiendo estudiar a nivel de edificación los beneficios y su incidencia en este.

A partir del caso de la Huerta de Valencia y su comportamiento en especial que en algún momento se puede comportar como Suelo al descubierto se genera la interrogante de cual configuración de cultivos hay que contar para que siempre este con suficiente vegetación.

También la Huerta de Valencia y su comportamiento en especial con el mosaico y rotación de cultivos merecería mayor atención para determinar su efecto real sobre la isla de calor de la ciudad. En esta misma línea se debería de estudiar el tejido vegetal urbano para que siempre se pueda contar con una tipología de vegetación que contribuya a disminuir la temperatura.



Una variable que no se exploró en esta investigación y que podría ser interesante es la relación de la Temperatura Superficial y el transporte, cual es el efecto de la movilidad en vehículo motorizado sobre la temperatura superficial.

La influencia que la dirección del viento tiene en la ubicación de la concentración de los puntos calientes, lo que permite plantear que estos son desplazados por los vientos y se pueden concentrar en ubicaciones en donde las coberturas de suelo presentan otras características a las esperadas y al hacer la prueba de la diferencia de las medias no obtener la diferencia significativa esperada y en otros casos encontrada.

Otra variable morfológica que no se logró incluir en el modelo por no contar con los datos necesarios, pero que consideramos que podría ser importante es el Factor de visión de cielo, el cual es un parámetro que caracteriza la radiación solar potencial en un área determinada en un punto específico, y se suele expresar como la relación entre la superficie visible de cielo y la porción cubierta por los diferentes elementos correspondientes con la edificación. El valor máximo significa un terreno abierto y plano donde el sol tendrá una gran incidencia, en contra posición el valor mínimo el cual es un sitio con gran cantidad de obstrucciones como edificios donde la radiación solar es mejor por el efecto de sombra que producen los edificios (Correa, et al., 2005).

Por último, sería necesario a partir de un año base, analizar año con año un mismo periodo, para encontrar las zonas más vulnerables, con las mayores temperaturas, y su área de influencia, así poder determinar donde intervenir para disminuir la temperatura superficial. Incluso, en el caso de futuras intervenciones en la ciudad a favor de una mayor resiliencia de la ciudad al cambio climático, sería conveniente continuar hacer un seguimiento analizado las imágenes a posterior para comprobar la eficacia de la media implementada.



Capítulo 6. Referencias

Abizanda, A., 2022. La ola de calor triplicó las fallecidos en España respecto a los de 2021. *La Razón*, 16 Septiembre.

Acero, J. & González-Asensio, B., 2018. Influence of vegetation on the morning land surface temperature in a tropical humid urban area. *Urban Climate*, 10 Septiembre, Issue 26, pp. 231-243.

Agencia Europea de Medio Ambiente, 2019. *Corine Land Cover 2018 en la Comunitat Valenciana*, Valencia: s.n.

Ajuntament de Valencia, 2021. *Padro Municipal d'habitants*, Valencia: s.n.

Ajuntament de Valencia, 2022. *Valencia*. [En línea] Available at: <https://www.valencia.es/es/cas/la-ciudad/actividad-economica> [Último acceso: 7 Diciembre 2022].

Alipour, T., Sarajian, M. & Esmaily, A., 2004. Land Surface Temperature Estimation from Thermal Band of Landsat sensor, case study: Alashtar City. *The International Archives of the Photogrammetry*, Volumen XXXVIII.

Alomar-Garau, G. & Bauzá, J., s.f. *Teledetección LiDAR y multiespectral para el análisis del verde urbano en una ciudad media mediterránea: Palma (Mallorca). Relación con el clima local*, s.l.: s.n.

Amirtahmasebi, R., Vuova, Z. & Fox, E. O., 2016. *La Nueva Agenda Urbana*, s.l.: s.n.

Arellano, B. & Rica, J., 2018. *Áreas verdes e Isla de calor urbana*. Mendoza, s.n., pp. 417-432.

Barreto, Á., Arbelo, M., Hernández-Leal, P. & Nuñez-Casillas, L., 2010. Evaluation of Surface Temperature and Emissivity Derives form ASTER Data: A Case Study Using Ground-Based Measurements at a Volcanic Site. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Octubre, Volumen XXVII, pp. 1677-1688.



Biryukov, A., Olenov, V. & Kolmogorova, A., 2021. Urban climate and registration of thermal anomalies of territories using satellite imagery. *E3S Web Conferences*, Issue 266, pp. 1-16.

Bravo, N., 2017. *Teledetección Espacial LANDSAT; SENTINEL 2; ASTER L1T y MODIS*. Primera ed. Huánuco: GEOMÁTICA AMBIENTAL S.R.L.

Caselle, V., López García, M., Meliá, J. & Pérez Cueva, A., 1990. Analysis of the Heat-Island Effect of the City of Valencia, Spain, Through Air Temperature Transects and NOAA Satellite Data. *Theoretical and Applied Climatology*, 3 Febrero, Issue 43, pp. 195-203.

Cedar Lake Ventures, Inc, 2022. *Weatherspark*. [En línea] Available at: <https://es.weatherspark.com/y/42614/Clima-promedio-en-Valencia-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o> [Último acceso: 8 Diciembre 2022].

Congedo, L., 2016. *Estimation of Land Surface Temperature with Landsat and ASTER*, s.l.: s.n.

Congedo, L., 2021. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), pp. 1-6.

Conseller de Obras Públics, Urbanismo y Transportes, 1988. *Plan General de Ordenacion Urbana de Valencia - Normas Urbanísticas*, Valencia: s.n.

Correa, E. y otros, 2005. Evaluación del factor de visión de cielo a partir del procesamiento digital de imágenes hemisféricas. Influencia de la configuración del canón urbano en la disponibilidad del recursos solar. *ASADES*, Volumen 9, pp. 43-48.

Cuadrat, J., Vicente-Serrano, S. & Saz, M., 2005. Los efectos a urbanización en el clima de Zaragoza (España): La isla de calor y sus factores condicionantes. *Boletín de la A.G.E.*, Julio, Issue 40, pp. 311-327.



Cuesta, J., 2020. *Caracterización de la Isla de Calor Urbana (ICU) mediante el uso de imágenes obtenidas por satélite, procesadas mediante software de código abierto QGIS. Aplicación al caso de Valencia*, Valencia: s.n.

de Schiller, S., Evans, J. & Katzschner, L., 2001. Isla de Calor, Microclima Urbano y Variables de Diseño Estudios en Buenos Aires y Río Gallegos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Volumen V, pp. 45-50.

Delgadillo, M., 2019. *Morfología y clima urbano. Aproximación local en Barcelona: Ciutat Vella, Eixample y Sarrià-Sant Gervasi*, Barcelona: s.n.

Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, 2005. *Ficheros descarga SIOSE*, s.l.: s.n.

Dos Santos, T. y otros, 2013. Influence of urbanization on Land Surface Temperature in Recife City. *Jabaticabal*, 4 Marzo, 33(6), pp. 1234-1244.

Esri, 2018. *ArcGIS Desktop*. [En línea]
Available at: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/what-is-a-z-score-what-is-a-p-value.htm>
[Último acceso: 12 Mayo 2022].

Esri, 2018. *ArcGIS Desktop*. [En línea]
Available at: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm>
[Último acceso: 12 Mayo 2022].

Esri, 2021. *ArcGIS Desktop*. [En línea]
Available at: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/spatial-autocorrelation.htm>
[Último acceso: 12 Mayo 2022].

Esri, 2021. *ArcGIS Desktop*. [En línea]
Available at: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/hot->



[spot-analysis.htm](#)

[Último acceso: 12 Mayo 2022].

Esri, 2022. *ESRI Satellite*. [En línea] Available at:

https://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer/tile/{z}/{y}/{x}

[Último acceso: 19 Junio 2022].

Europa Press, 2021. València aumentó su temperatura una media de 1,04°C en la década 2011-2020. *ValènciaExtra*, 11 Agosto.

Feizizadeh, B. & Blaschke, T., 2013. Examining Urban Heat Island Relations to Land Use and Air Pollution: Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis for Thermal Remote Sensing. *IEEE Journal*, Junio, VI(3), pp. 1749-1756.

Fernández, A., 2018. *Calculo de temperatura de superficie a partir de imágenes NOAA, LANSAT y SENTINEL-3*, Valenca: Universidad Politécnica de Valencia.

Fernández, F., 2009. Ciudad y cambio climático: Aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid. *Investigaciones Geográficas*, Issue 49, pp. 173-195.

Galvis, S. & Prada, R., 2007. *Uso de Imágenes Satelitales Landsat 8 para la estimación de temperatura superficial de la tierra, caso de estudio: Ibagué - Tolma*, s.l.: s.n.

Garzón, J., Molina, I. & Velasco, J., 2021. *Análisis espaciotemporal del fenómeno Islas de Calor Urbano y su relación con factores biofísicos extraídos de imágenes multiespectrales usando técnicas PCA-MLR*. Cartagena de Indias, Colombia, Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), pp. 1-10.

Generalitat Valenciana, 2019. *Info PMOME*, Valencia: s.n.

Isaya, M. & Avdan, U., 2016. Inversion of Land Surface Temperature (LST) Using Terra ASTER Data: A Comparison of Three Algorithms. *remote sensing*, 2 Diciembre, VIII(993), pp. 1-19.



Jiménez-Muñoz, J. C. & Sobrino, J. A., 2007. Feasibility of Retrieving Land-Surface Temperature From ASTER TIR Bands Using Two-Channel Algorithms: A Case Study of Agricultural Areas. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, Enero, IV(1), pp. 60-64.

Jin, M. & Liang, S., 2006. An Improved Land Surface Emissivity Parameter for Land Surface Models Using Global Remote Sensing Observations. *American Meteorological Society*, 15 Junio, Volumen XIX, pp. 2867-2881.

Kato, S. & Yamaguchi, Y., 2005. Analysis of urban heat-island using ASTER and ETM+ Data: Separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux. *Remote Sensing of Environment*, 28 Abril, Issue 99, pp. 44-54.

Konijnendijk, C. C., 2022. Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing 3-30-300 rule. *Springer*, 18 Enero, pp. 1-10.

Li, H. y otros, 2019. Comparison of the MuSyQ and MODIS Collection 6 Land Surface Temperature Products Over Barren Surfaces in the Heihe River Basin, China. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Octubre, 57(10), pp. 8081-8094.

Liu, L. & Zhang, Y., 2011. Urban Heat Island Analysis Using Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 13 Julio, Issue 3, pp. 1535-1552.

Lu, D. & Weng, Q., 2005. Spectral mixture analysis of ASTER images for examining the relationship between urban thermal features and biophysical descriptors in Indianapolis, Indiana, USA. *Remote Sensing of Environment*, 22 Noviembre, Issue 104, pp. 157-167.

Mallick, J., Rahman, A. & Kumar, C., 2013. Modeling urban heat islands in heterogeneous land surface and its correlation with impervious surface area by using night-time ASTER satellite data in highly urbanizing city, Delhi-India. *Advances in Space Research*, 10 Mayo, Issue 52, pp. 639-655.

Meng, X. y otros, 2016. Retrieving Land Surface Temperature from Landsat 8 TIRS Data using RTTOV and ASTER GED. *IGARSS*, pp. 4302-4305.



Moreno, C., 1997. Una propuesta de terminología castellana en climatología urbana. Issue 17, pp. 89-98.

Naciones Unidas, s.f. *Ciudades - Desarrollo Sostenible*. [En línea]
Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

Ndossi, M. & Avdan, U., 2016. Inversion of Land Surface Temperature (LST) Using Terra ASTER DATA: A Comparison of Three Algorithms. *remote sensing*, 2 Diciembre, 8(993), pp. 1-19.

Nichol, J., Fung, W. Y., Lam, K.-s. & Wong, M. S., 2009. Urban heat island diagnosis using ASTER satellite images and "in situ" air temperature. *Atmospheric Research* 94, 9 Junio.pp. 276-284.

Nichol, J. y otros, 2009. Urban heat island diagnosis using ASTER satellite images and "in situ" air temperature. *Atmospheric Research*, 7 Junio, Issue 94, pp. 276-284.

Nie, J. y otros, 2021. Land Surface Temperature and Emissivity Retrieval from Nighttime Middle-Infrared and Thermal-Infrared Sentinel-3 Images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 5 Mayo, 18(5), pp. 915-919.

Oguz, H., 2015. A Software Tool for Retrieving Land Surface Temperature from ASTER Imagery. *Journal of Agricultural Sciences*, Issue 21, pp. 471-482.

Oltra-Carrió, R., Sobrino, J., Franch, B. & Nerry, F., 2012. Land surface emissivity retrieval from airborne sensor over urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 26 Abril, Issue 123, pp. 289-305.

Pasapera, J. J., 2014. *Validación de la emisividad y temperatura de la superficie del suelo usando datos del satélite LANDSAT 8*, s.l.: s.n.

QGIS Development Team, 2022. *QGIS Geographic Information System*. [En línea]
Available at: <https://qgis.org>

Rodríguez, I., 2020. Repensar el urbanismo como una solución al cambio climático. Caso de estudio: Área Metropolitana Asturiana. *Orcid*, 28 Septiembre.p. 22.



Rosselló, C. & Casals, N., s.f. *Determinaci3on de la evapotranspiraci3n en Catalunya mediante el uso de la telefetecci3n y los sistemas de informaci3n geogr3fica*, Barcelona: s.n.

Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P. & Escobedo, C., 2008. An3lisis de la m3xima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista Climatología*, 29 Diciembre, Volumen VIII, pp. 71-84.

Schwarz, N., Lautenbach, S. & Seppelt, R., 2011. Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures. *Remote Sensing of Environment*, 6 Agosto, pp. 3175-3186.

Sekertekin, A. & Bonafoni, S., 2020. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over rural areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation. *Remote sensing*, 16 Enero, XII(294), pp. 1-32.

Senciales-Gonz3les, J. R.-C. J. & Smith, P., 2020. Surveying topographical changes and climate variations to detect the urban heat island in the city of M3laga (Spain). *Cuadernos de Investigaci3n Geogr3fica*, II(46), pp. 521-544.

Silvestri, M. y otros, 2020. First Comparisons of Surface Temperature Estimations between ECOSTRASS, ASTER and Landsat 8 over Italian Volcanic and Geothermal Areas. *remote sensing*, 4 Enero, XII(184), pp. 1-11.

Sobrino, J., Jim3nez-Mu3oz, J. & Paolini, L., 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 20 February, Issue 90, pp. 434-440.

Sobrino, J., Jim3nez-Mu3oz, J. & Paolini, L., 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 20 Febrero, pp. 434-440.

Song, Bonggeun & Park, K., 2014. Validation of ASTER Surface Temperature Data with in Situ Measurements to Evaluate Heat Island in Complex Urban Areas. *Hindawi Publishing Corporation*, 20 Enero, Volumen 2014, pp. 1-12.



Teruya, S., 2016. *Análisis de la relación de la Isla de Calor Urbano con factores demográficos, espaciales y ambientales de Lima Metropolitana usando sensores remotos*, Lima: s.n.

Thi Van, T. & Xuan Bao, H. D., 2009. Study of the Impact of Urban Development on Surface Temperature Using Remote Sensing in Ho Chi Minh City, Southern Vietnam. *Geographical Research*, 18 Agosto, I(48), pp. 86-96.

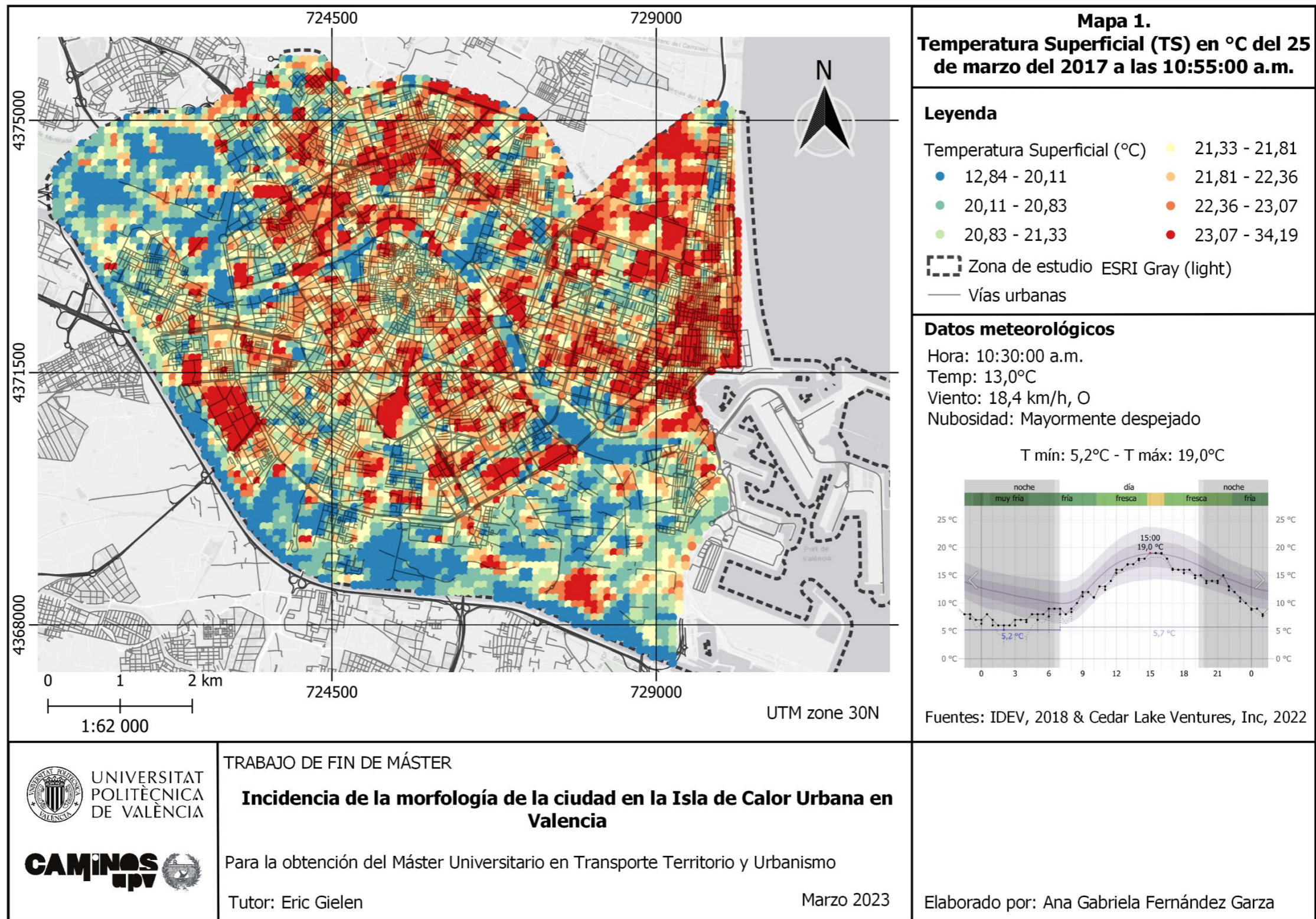
Velásquez, O. & Torres, M., 2020. *Evaluación multitemporal de la temperatura de superficie en coberturas de bosques y áreas seminaturales y territorios agrícolas del municipio de Puerto Lopez (META)*, Bogota B.C.: Especialización en Sistemas de Información Geográfica.

Wang, H., Yu, Y., Yu, P. & Liu, Y., 2020. Land Surface Emissivity Product for NOAA JPSS and GOES-R Missions: Methodology and Evaluation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Enero, 58(1), pp. 307-318.

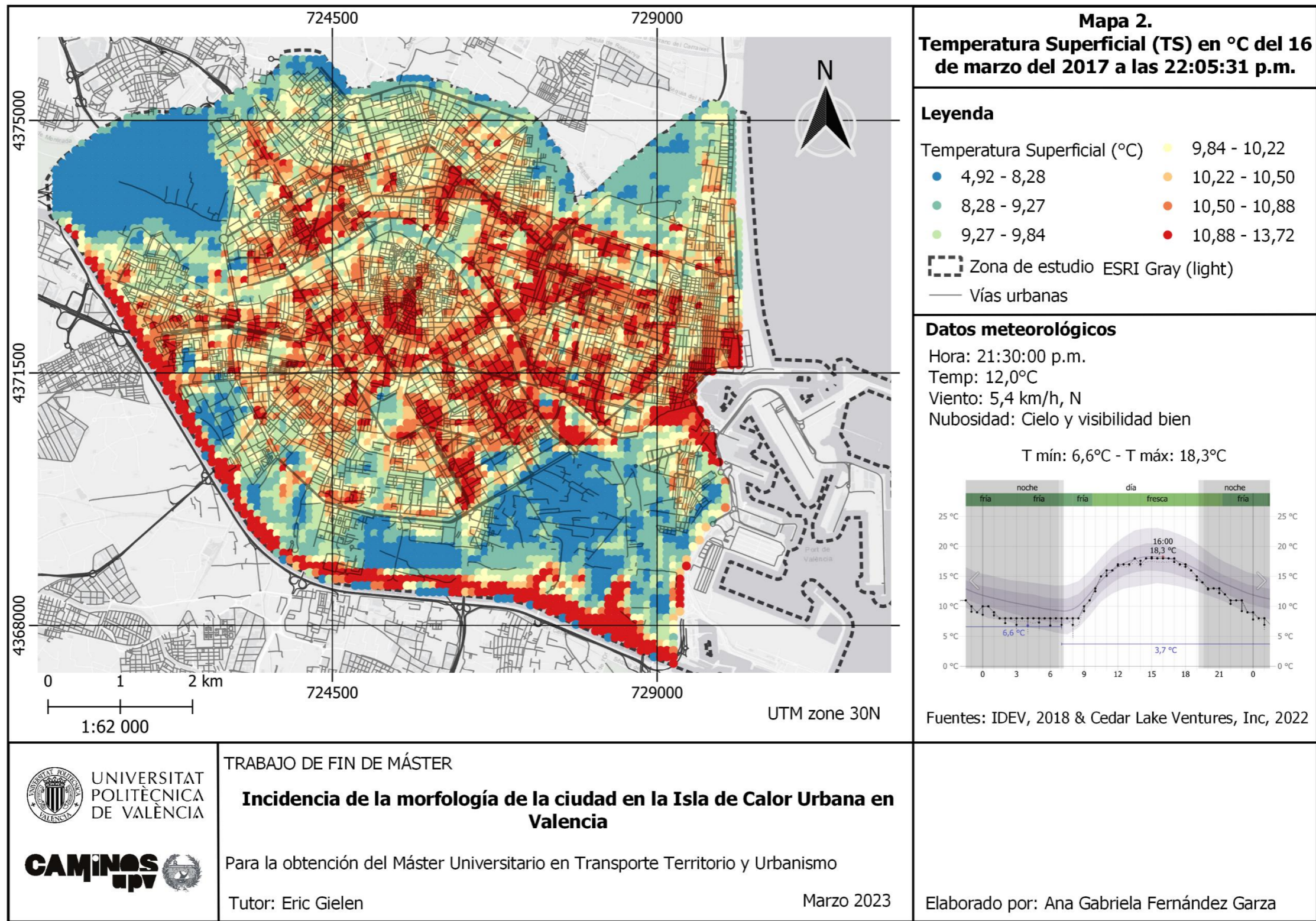
Weng, Q., 2009. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 5 Mayo, Issue 64, pp. 335-344.

Zheng, X., Li, Z.-L., Nerry, F. & Zhang, X., 2019. A new thermal infrared channel configuration for accurate land surface temperature retrieval from satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 15 Junio, Issue 231, pp. 1-12.

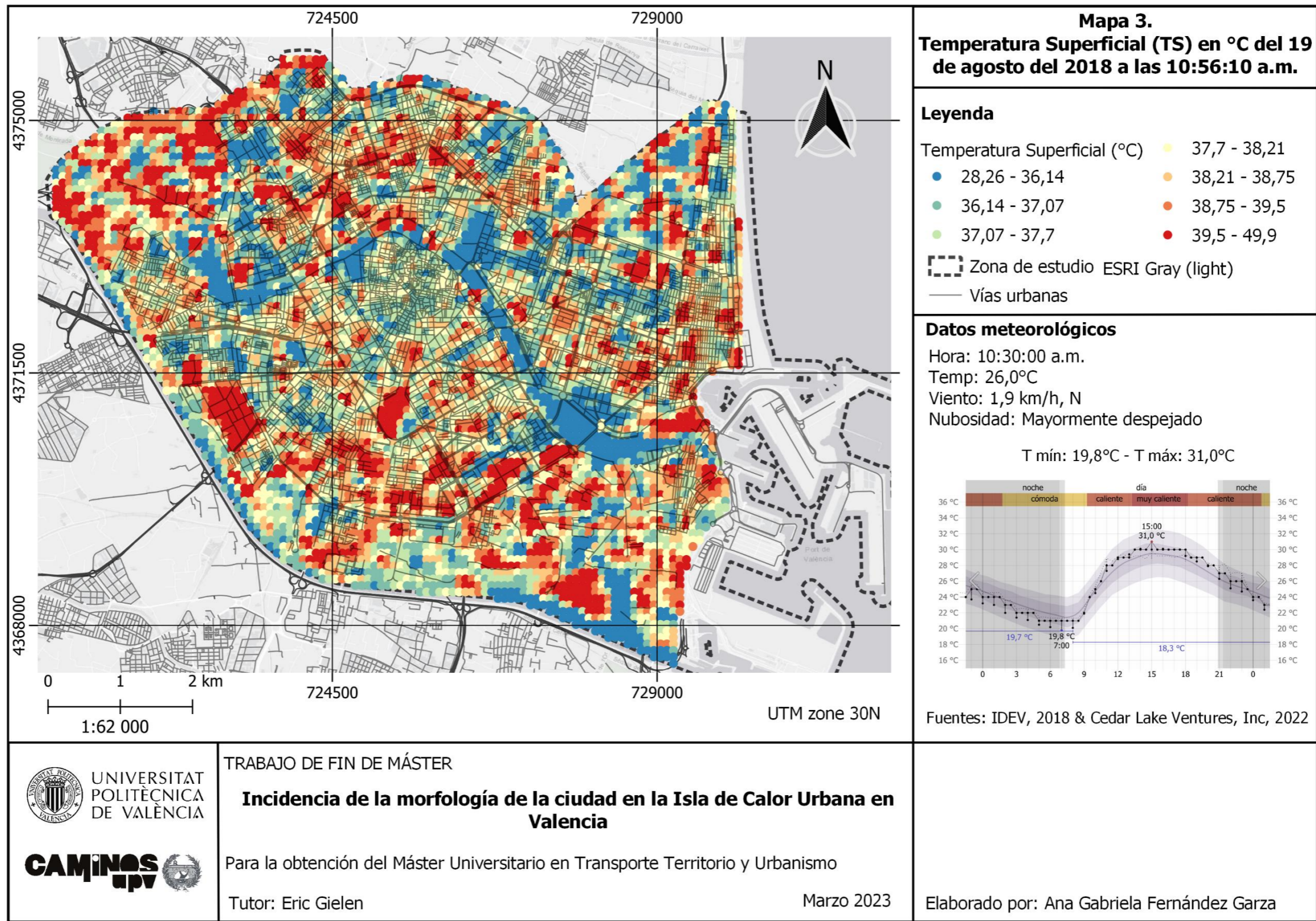
Anexo 1. Mapas del Clima Urbano (MCU) y de las características morfológicas estudiadas



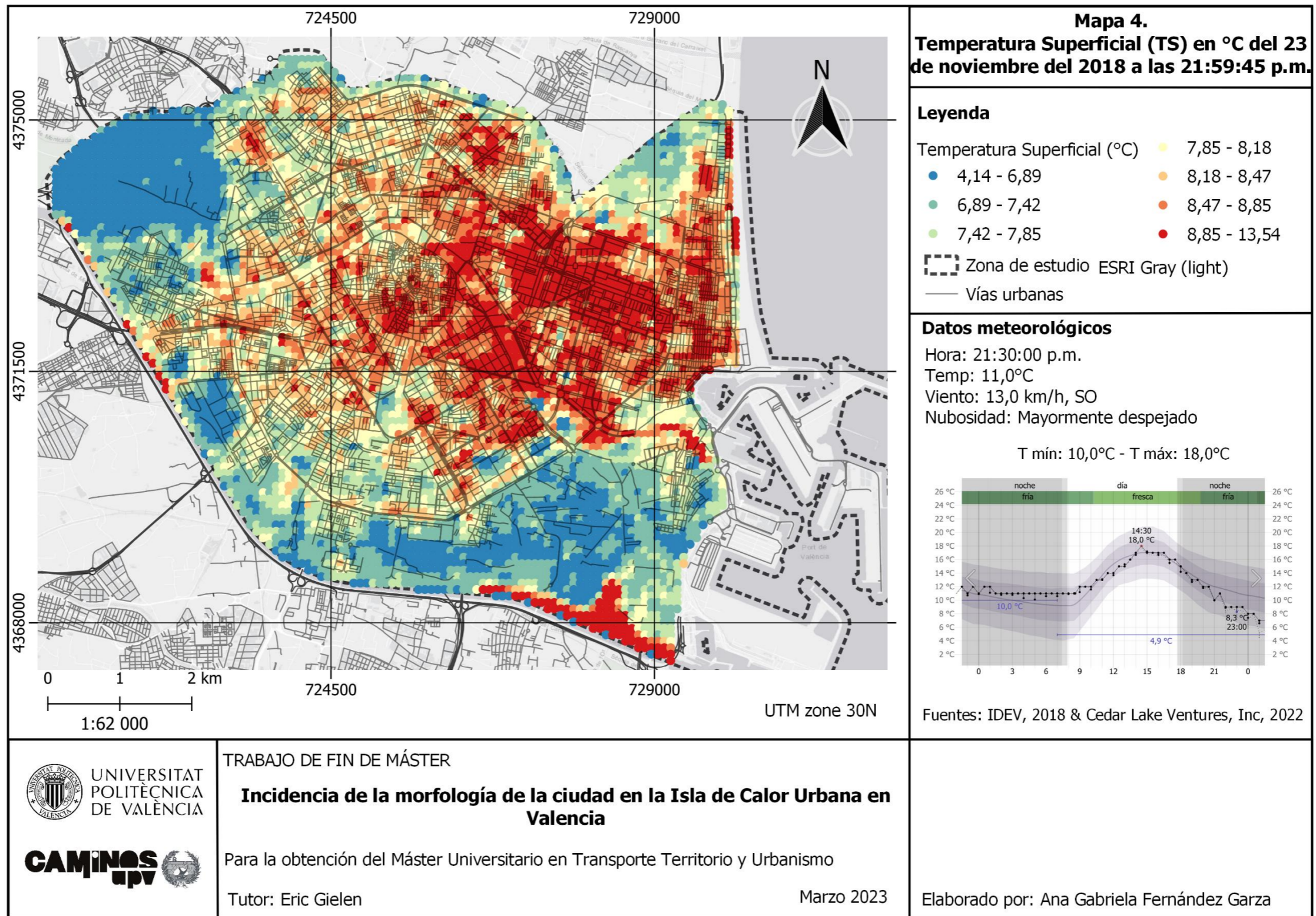
Mapa 1. Temperatura Superficial (TS) en °C del 25 de marzo del 2017 a las 10:55:00 a.m.



Mapa 2. Temperatura Superficial (TS) en °C del 16 de marzo del 2017 a las 22:05:31 p.m.



Mapa 3. Temperatura Superficial (TS) en °C del 19 de agosto del 2018 a las 10:56:10 a.m.



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Incidencia de la morfología de la ciudad en la Isla de Calor Urbana en Valencia

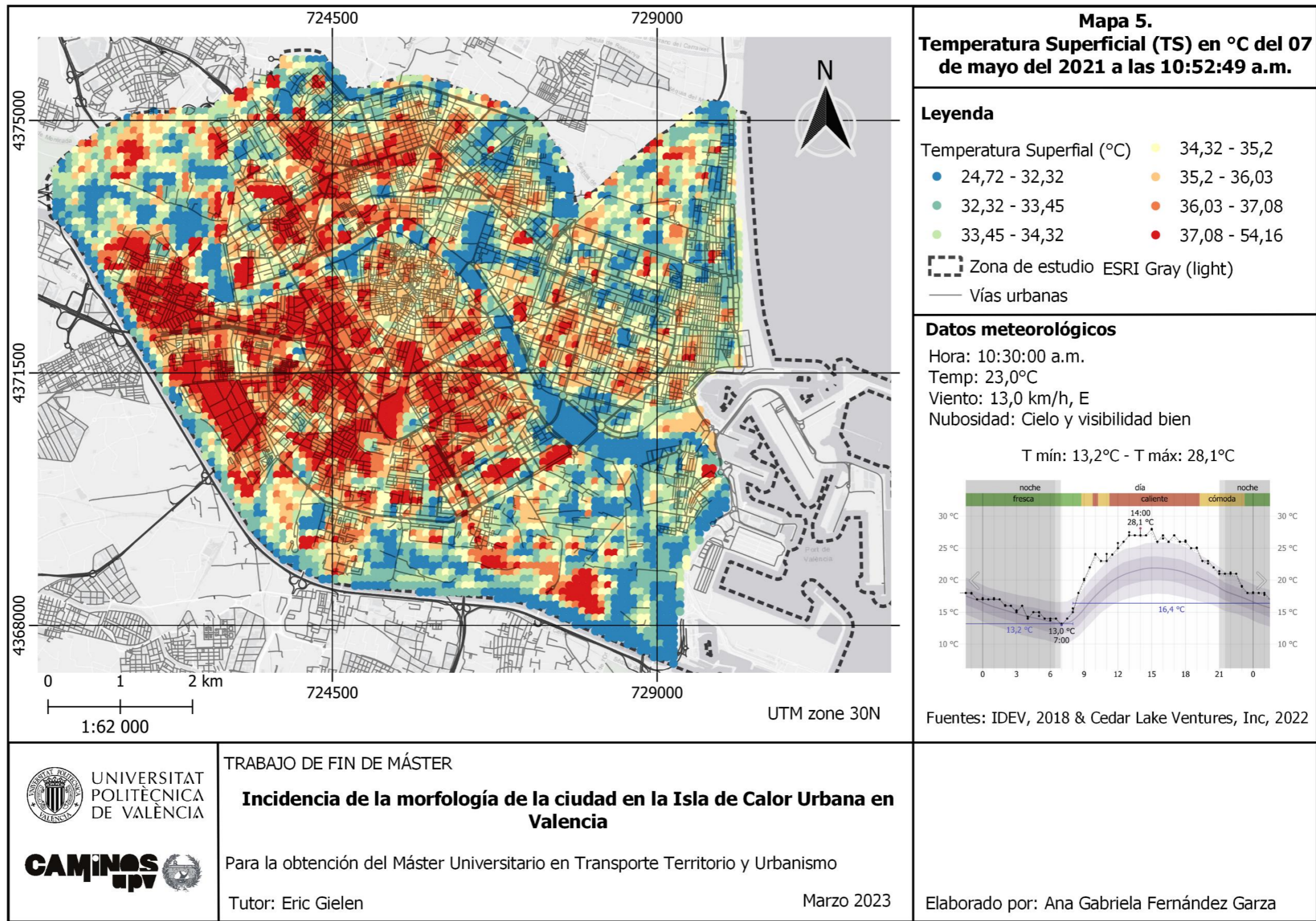
Para la obtención del Máster Universitario en Transporte Territorio y Urbanismo

Tutor: Eric Gielen

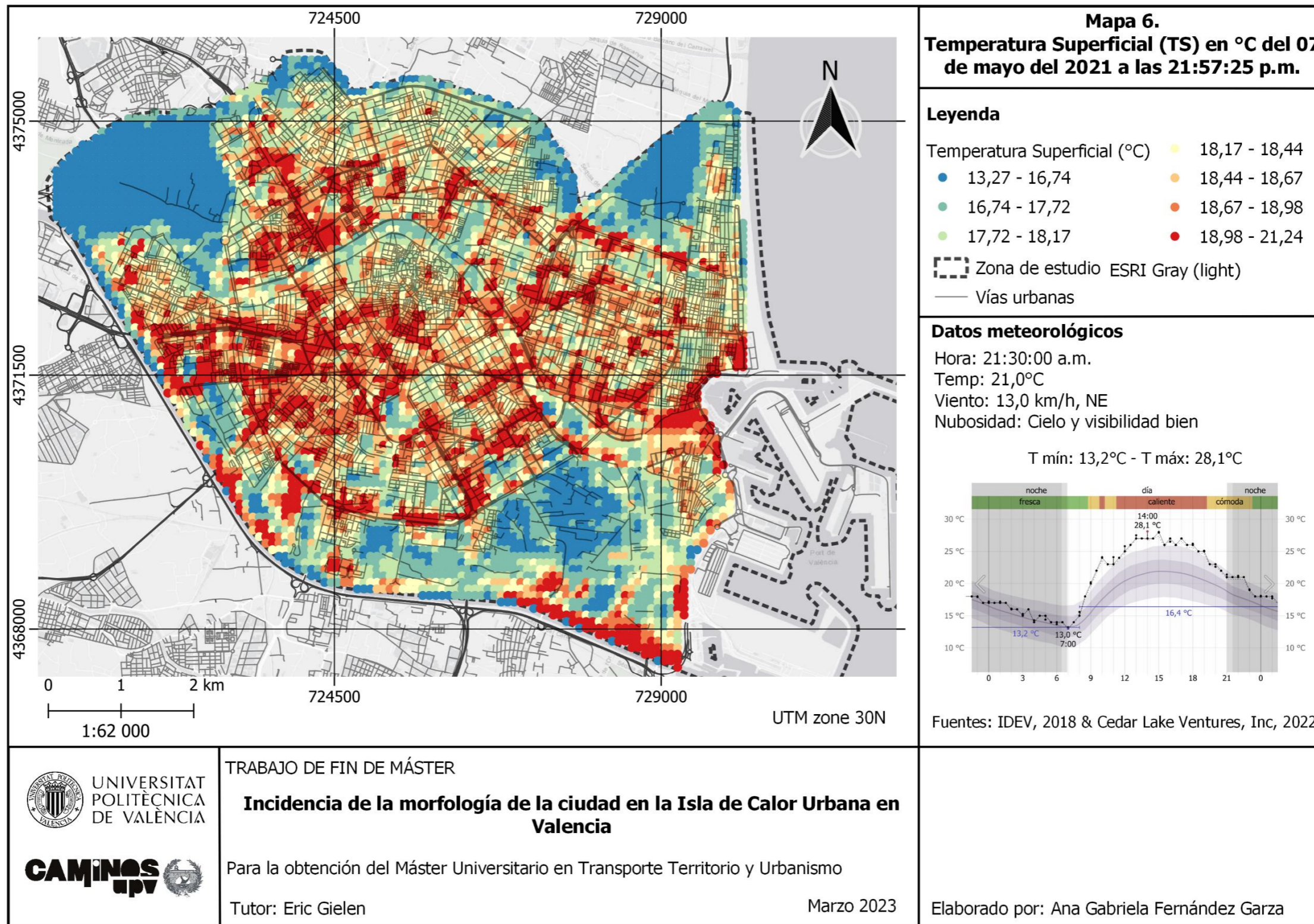
Marzo 2023

Elaborado por: Ana Gabriela Fernández Garza

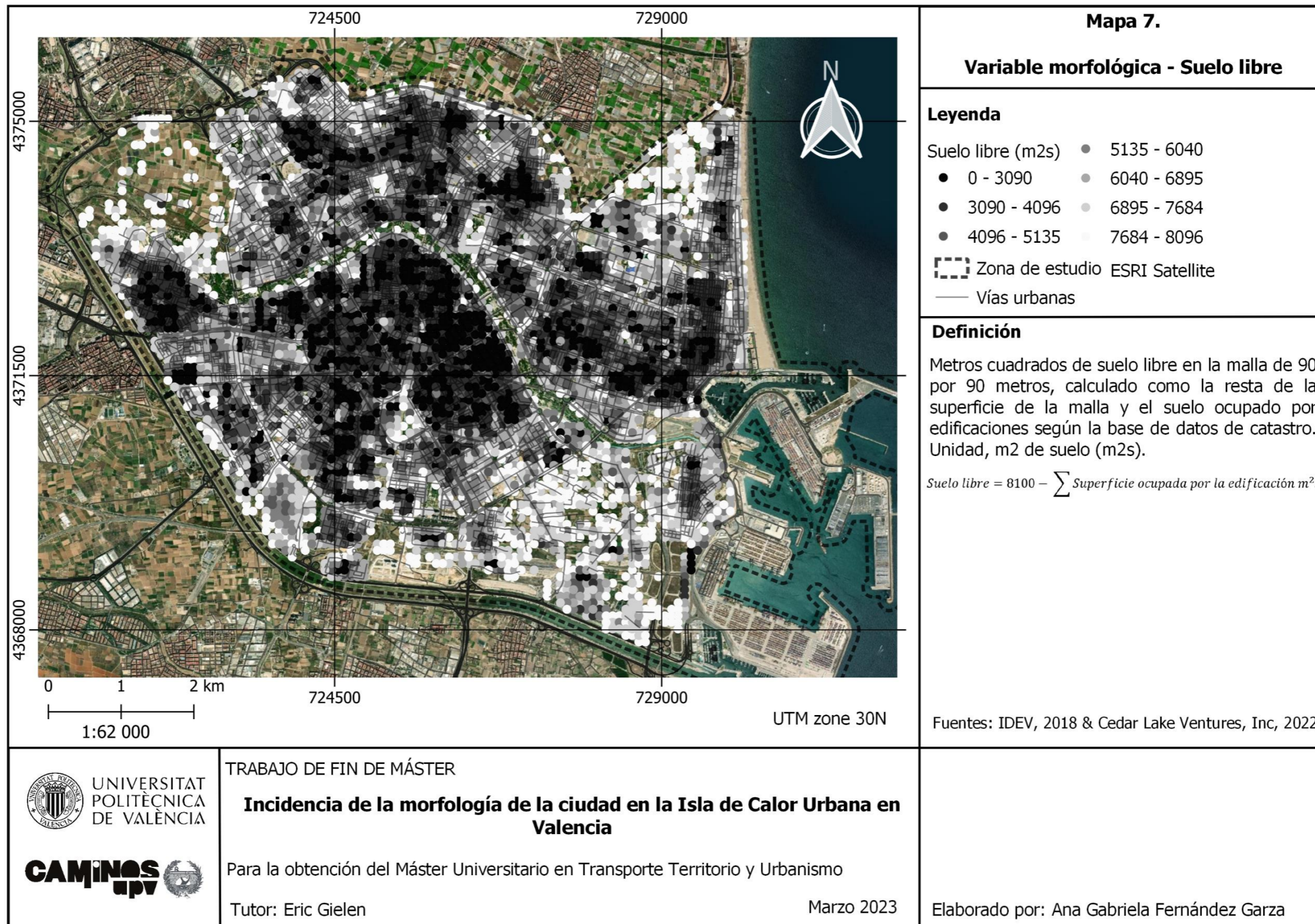
Mapa 4. Temperatura Superficial (TS) en °C del 23 de noviembre del 2018 a las 21:59:45 p.m.



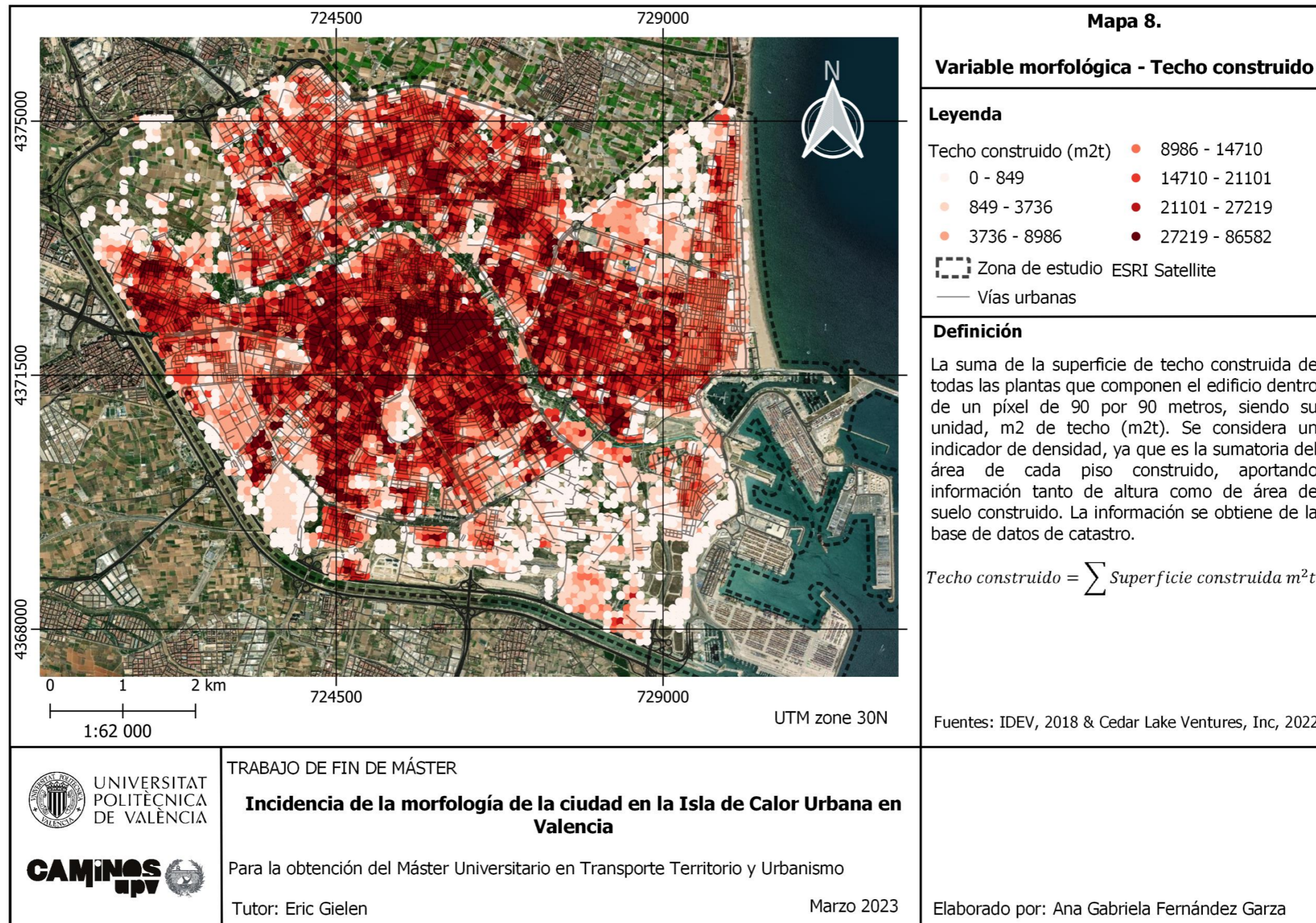
Mapa 5. Temperatura Superficial (TS) en °C del 07 de marzo del 2021 a las 10:52:49 a.m.



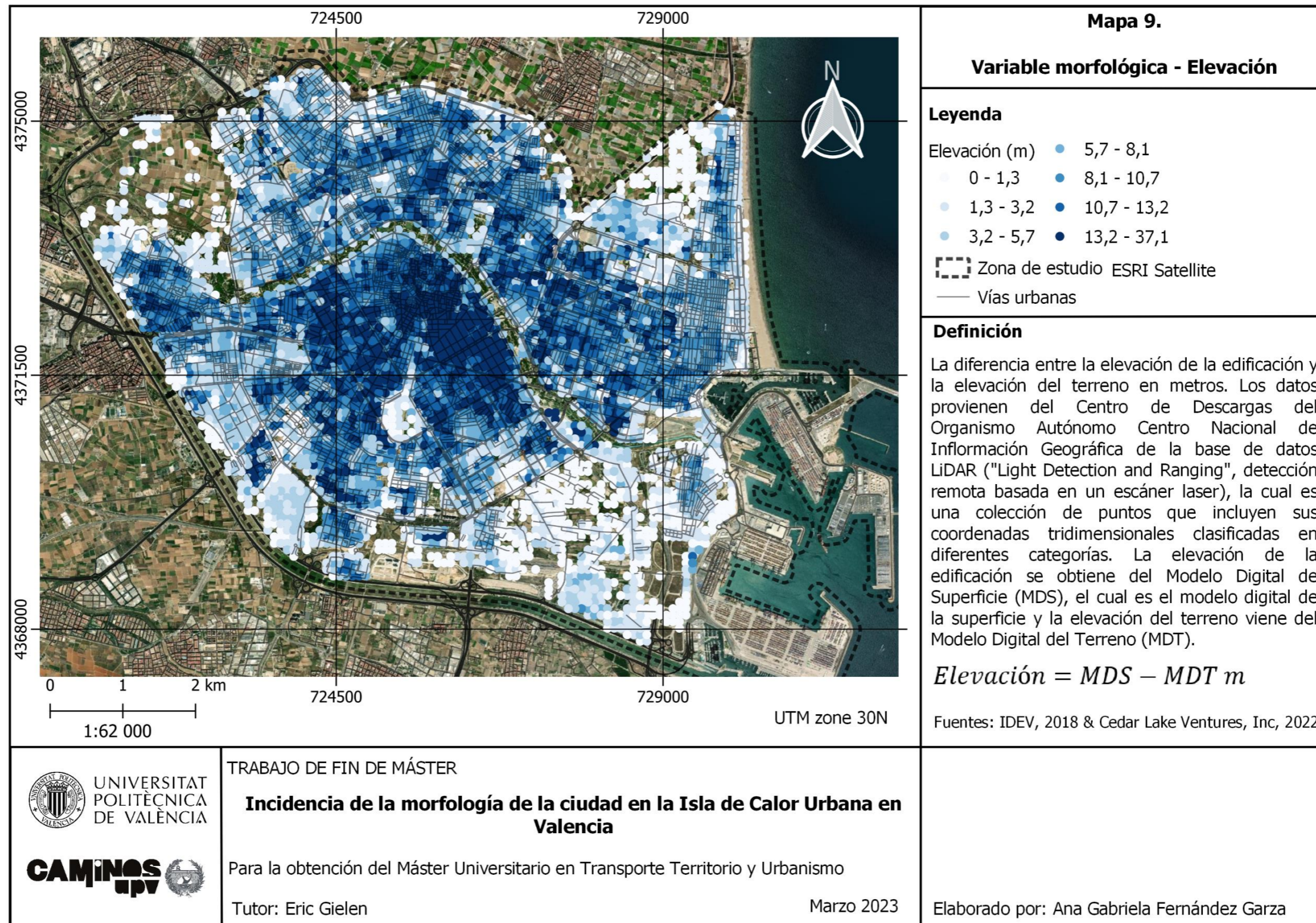
Mapa 6. Temperatura Superficial (TS) en °C del 07 de marzo del 2021 a las 21:57:25 p.m.



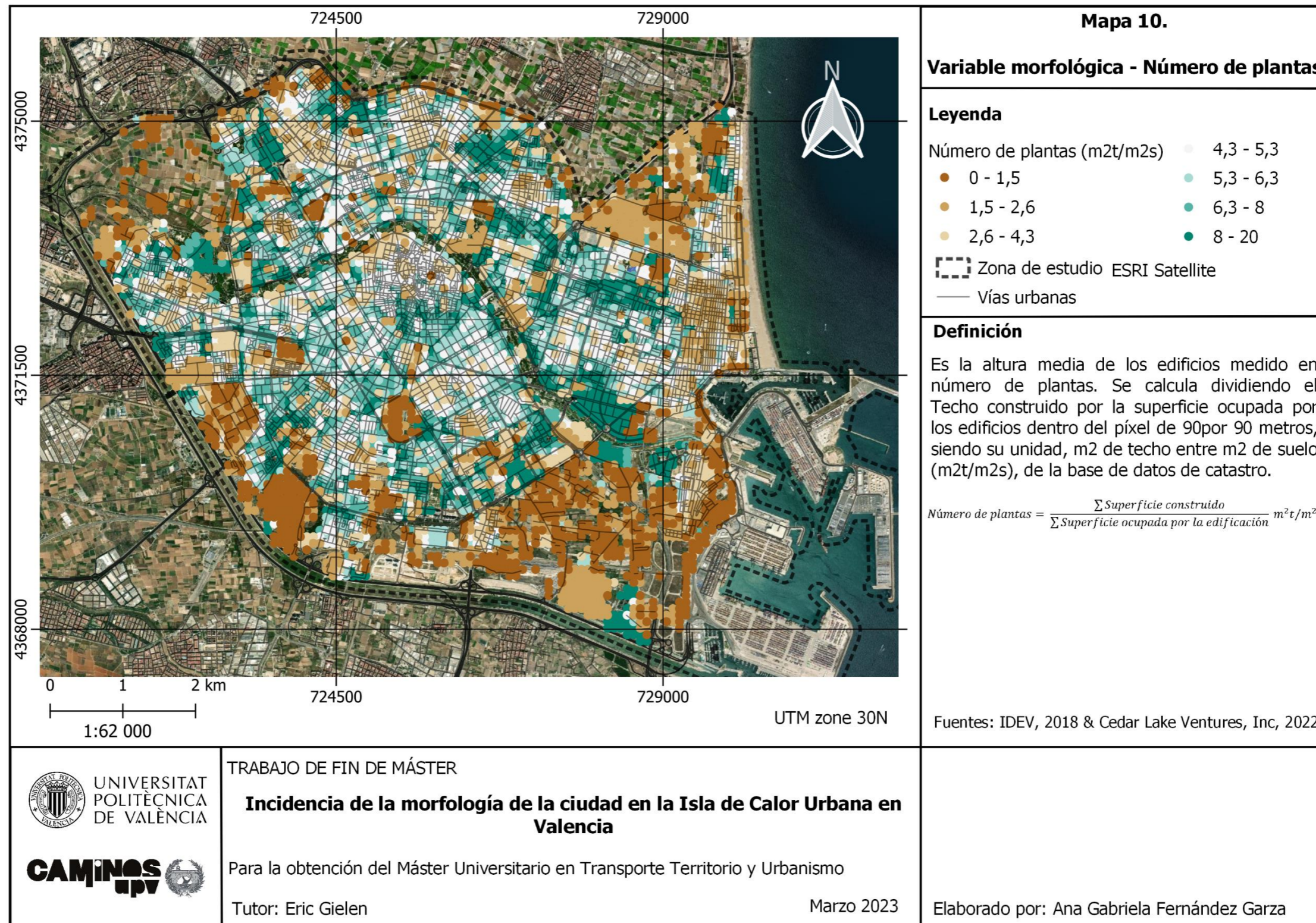
Mapa 7. Variable morfológica – Suelo libre



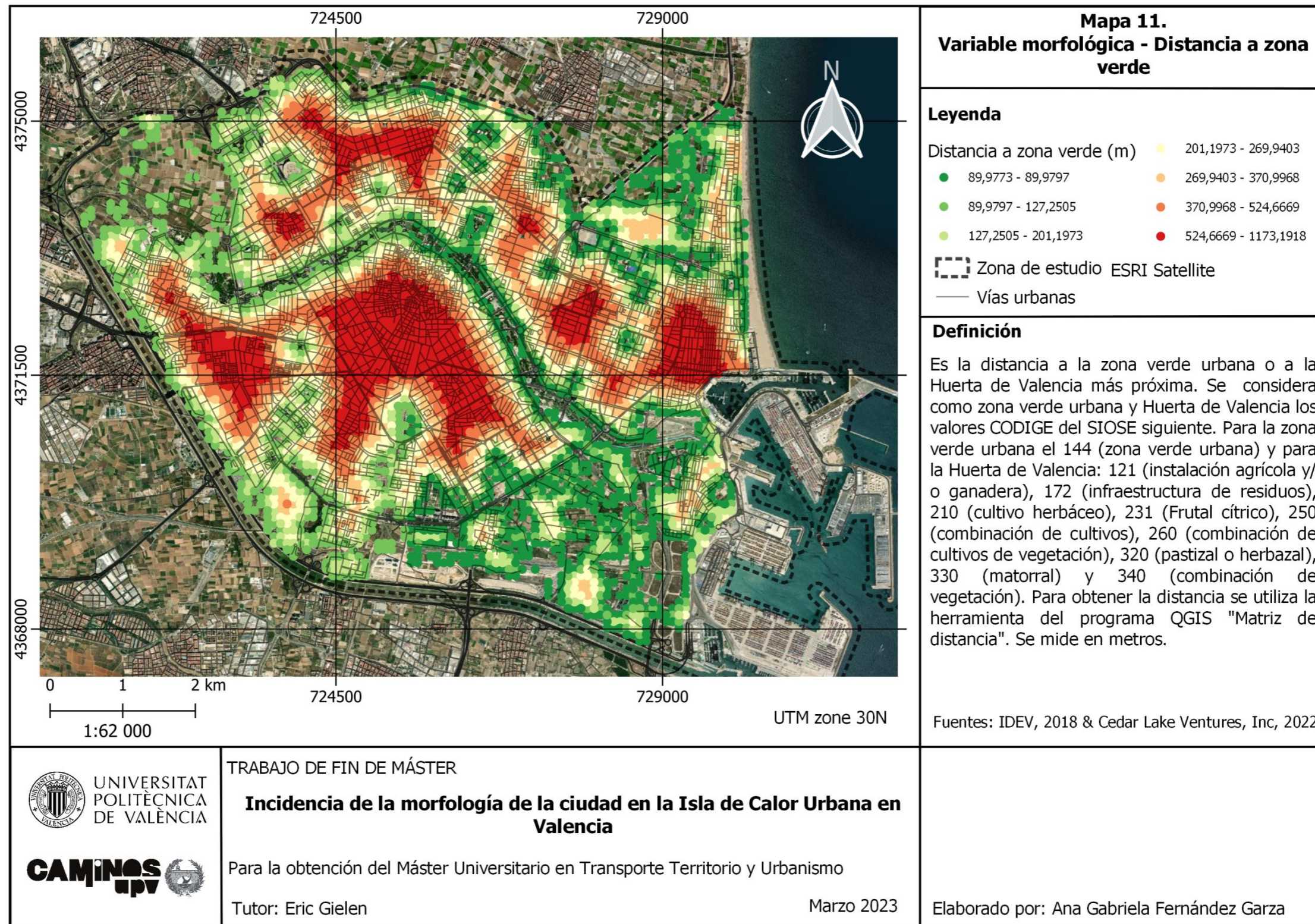
Mapa 8. Variable morfológica – Techo construido



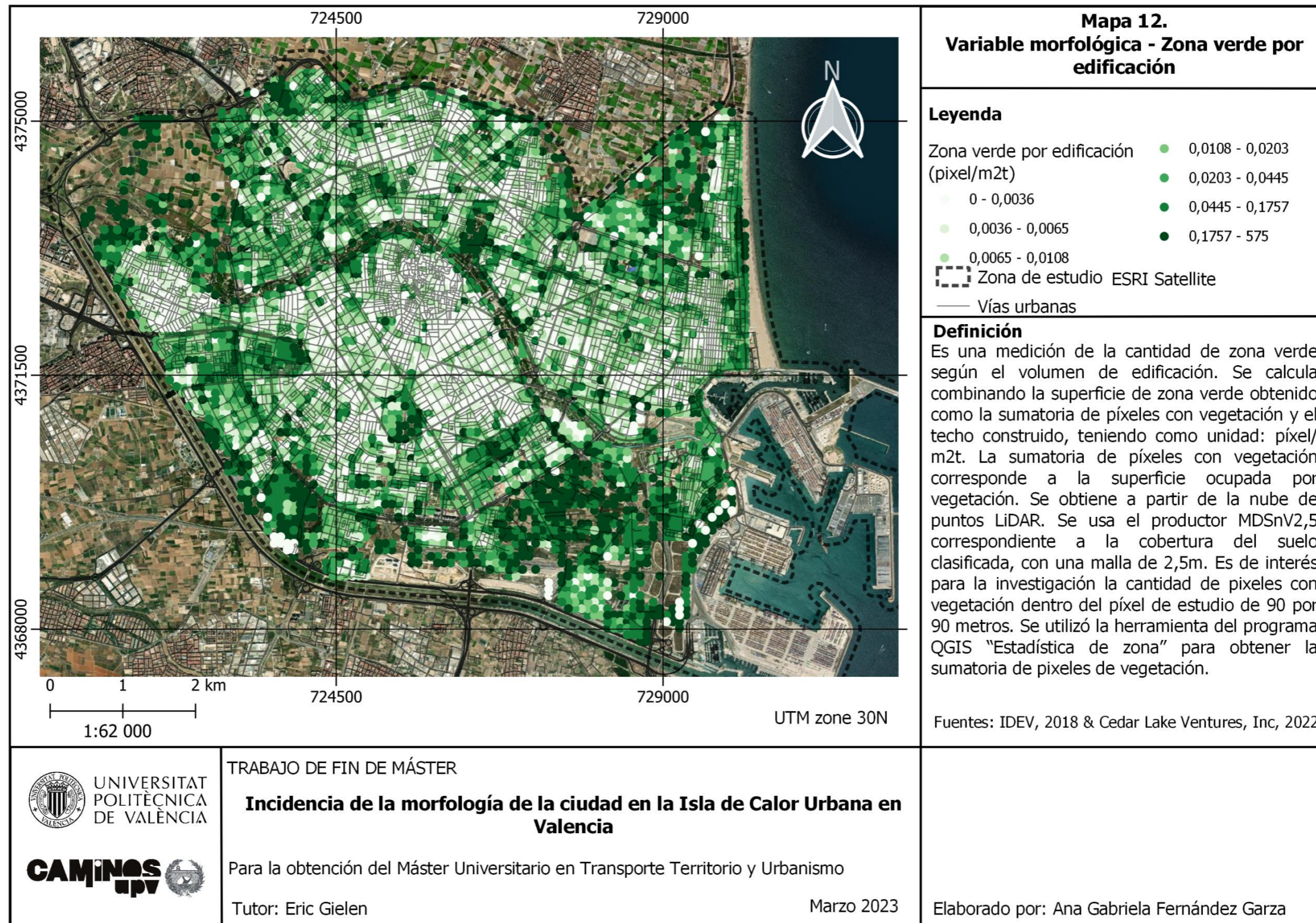
Mapa 9. Variable morfológica – Elevación



Mapa 10. Variable morfológica – Número de plantas



Mapa 11. Variable morfológica – Distancia a zona verde



Mapa 12. Variable morfológica – Zona verde por edificación



Anexo 2. Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Cuadro 28. Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.			X	
ODS 2. Hambre cero.			X	
ODS 3. Salud y bienestar.			X	
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.		X		
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.			X	
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.				X
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.	X			
ODS 12. Producción y consumo responsable.			X	
ODS 13. Acción por el clima.	X			
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.			X	
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos				X

Descripción:

En este trabajo se desarrolló una metodología que permite estimar la Temperatura Superficial (TS) mediante imágenes satelitales. A partir de la Temperatura Superficial se pueden estudiar las Islas de Calor Urbanas (ICU) y la morfología urbana y su relación con la Temperatura Superficial, siendo así es como este trabajo se relaciona altamente con los objetivos:

11. Ciudades y comunidades sostenibles y

13. Acción por el clima.



Se considera que a un nivel medio los hallazgos de este trabajo contribuyen con los objetivos: 3. Salud y bienestar y el 7. Energía asequible y no contaminante. Ya que las conclusiones de la morfología de la ciudad si se siguen trabajando y se establecen como política pública podría ayudar a minimizar el impacto del calentamiento global, tener ciudades resilientes y una utilización más eficiente de los recursos, en especial disminuir la dependencia a los sistemas de climatización en las edificaciones.

El aumento de la Temperatura Superficial y sus consecuencias sumado a las cada vez más recurrentes olas de calor, nos permite relacionar el trabajar con la meta de reducir sustancialmente el número de muertos y enfermedades producidas por la contaminación del aire, el agua y el suelo, la cual forma parte del Objetivo 3. Salud y bienestar.

Al estudiar la Temperatura Superficial y su relación con los parámetros morfológicos nos permite ir entendiendo el planeamiento de ciudad que permita hacer un uso más eficiente de la energía, en especial de los sistemas de climatización en los edificios. Todavía los hallazgos de este trabajo se quedan muy limitado a en la ayuda que realizan por cumplir con el Objetivo 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna, siendo necesario más investigación, tecnología e innovación constructiva para tener una relación mayor.

El Objetivo 11, busca ciudades más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles, este trabajo quiso aporte a este objetivo al investigar las variables morfológicas que afecta la temperatura en las ciudades. A partir de los resultados encontrados se pueden establecer políticas de planificación que favorezcan la disminución de la Temperatura Superficial en las ciudades, las cuales ayudaran con la meta de reducir el número de muertes por desastres naturales, olas de calor y con la meta de brindar un acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguras ya que se obtuvo que la Distancia a zonas verdes y Zona verde por edificación son dos variables que ayudan a disminuir la Temperatura Superficial.

Este trabajo aporta resultados que ayudaran a cumplir con el Objetivo 13. Acción por el clima, ya que con se mencionó anteriormente los resultados obtenidos brinda a los planificadores criterios morfológicos urbanos para implementar medidas que fortalezcan la resiliencia y la



capacidad de adaptación al cambio climático y a los desastres naturales. En los dos últimos objetivos es importante la planificación y la gestión, pero sobre todo la difusión de los hallazgos encontrados para que los planificadores cuente con las herramientas para plantear mejores ciudades.